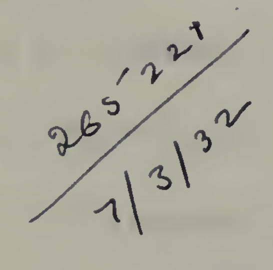

3 1761 07972417 5

PAGES D'HISTOIRE

11^E Série. - a - f

Les Armements



Librairie Militaire Berger-Levrault

Paris Nancy



Contents



PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915

r Série

LE "75"

CONFÉRENCE FAITE

PAR

M. TH. SCHLŒSING Fils
Membre de l'Institut

LE CANON
LE TIR
LES PROJECTILES

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

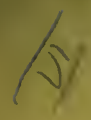
PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
18, RUE DES GLACIS

:2

Prix : 40 centimes

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915



PLAN GÉNÉRAL

1re Série. — L'Explosion vue de la frontière de l'Est (23 juillet — 5 août). 5 volumes parus : *a)* Le Guet-Apens ; *b)* La Tension diplomatique ; *c)* En mobilisation ; *d)* La Journée du 4 août ; *e)* En guerre.

2e Série. — Les Pourparlers diplomatiques.
- *a)* Livre bleu anglais ;
- *b)* Livre gris belge ;
- *c)* Livre orange russe ;
- *d)* Livre bleu serbe ;
- *e)* Livre blanc allemand
- *f)* Livre jaune français ;
- *g)* Les déclarations de guerre et les séances des Parlements allemand, anglais, belge et russe.

3e Série. — Les Communiqués officiels. *Suite chronologique des dépêches du Gouvernement français.* 5 vol. parus (du 5 août au 30 novembre).

4e Série, — Atlas-Index de tous les théâtres de la guerre.
- *a)* Campagnes de France et de Belgique (34 cartes en 4 couleurs, index alphabétique) ;
- *b)* Campagne des Vosges, d'Alsace, de Lorraine, de l'Allemagne de l'Ouest ;
- *c)* Cartes des principaux champs de bataille ;
- *d)* Front Est : Prusse Orientale, Galicie, Pologne, Hongrie ;
- *e)* Front Sud : Serbie, Bosnie-Herzégovine, etc. ;
- *f)* Cartes d'ensemble d'Europe. Colonies allemandes.

5e Série. — Les Mises à l'Ordre du Jour. *Citations, Promotions, Légion d'honneur, Médaille militaire.* 5 vol. parus (du 8 août au 1er novembre).

6e Série. — Pangermanisme.
- *a)* Traduction d'ouvrages pangermanistes ;
- *b)* La Doctrine de guerre ;
- *c)* Les Faussaires ;
- *d)* Les Huns (illustré) ;
- *e)* Les Vandales (illustré) ;
- *f)* Manifestes des 93 et des Universités allemandes.

7e Série. — L'Indignation du monde civilisé.
- *a)* Devant l'Institut de France ;
- *b)* Devant l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres ;
- *c)* Devant l'Académie Française ;
- *d)* La protestation des grands hommes de l'étranger ;
- *e)* Ordres du jour des sociétés savantes et artistiques.

8e Série. — La Guerre et la Presse mondiale.
- *a)* Extraits du *Bulletin des Armées de la République ;*
- *b)* Articles choisis dans les grands quotidiens de Paris ;
- *c)* Presse de province ;
- *d)* Presse des pays alliés ;
- *e)* Presse des pays neutres ;
- *f)* Presse des pays ennemis ;
- *g)* Les meilleures Caricatures et les meilleures Chansons.

9e Série. — Pendant la guerre.
a) La Vie à Paris ;— *b)* La Vie en Province ; — *c)* La Vie à l'Étranger, etc.

10e Série. — Les Opérations militaires.
Les Français en Alsace. — Les Français en Belgique. — La Retraite stratégique. — Le Grand-Couronné de Nancy. — La Bataille de la Marne. — La Campagne des Vosges.— Bataille de l'Aisne.— Combats dans l'Argonne et dans la Woëvre.— Bataille du Nord, etc., etc.

Le "75"

LE "75"

Au cours du dernier siècle et surtout depuis quelques dizaines d'années, la science de l'Ingénieur a pénétré presque partout et entraîné les plus profondes transformations dans maintes branches de l'activité humaine. La guerre n'a pas échappé à cette pénétration ni aux transformations qui en découlent. Certes les facteurs moraux, la discipline, la bravoure, la patience, la foi en une juste cause, la volonté de vaincre, y tiennent toujours une place immense. Mais, toutes choses égales sous le rapport du moral, la guerre est aujourd'hui grandement influencée par la mise en jeu d'une foule de ressources que crée l'Ingénieur; elle utilise, en une gigantesque synthèse, les productions qu'il multiplie dans les industries les plus variées, si bien que les chances qu'elle comporte sont étroitement liées à la valeur et au développement des moyens industriels dont disposent, par eux-mêmes ou par ceux qui les entretiennent, les belligérants.

Si quelqu'un avait besoin de s'en convaincre, il n'aurait qu'à réfléchir un instant au rôle joué dans

la guerre par les armes de toutes catégories, par les explosifs, les chemins de fer, les automobiles, les constructions navales depuis les plus grandes unités jusqu'aux sous-marins, par la fortification, la télégraphie avec ou sans fil, les téléphones, l'aérostation, l'aviation, l'équipement du soldat, la préparation et la conservation des denrées alimentaires, et encore bien des éléments de l'approvisionnement des arsenaux et des magasins militaires.

Le domaine de la guerre s'est tellement élargi et s'élargit tellement chaque jour dans le sens des applications des sciences et de l'industrie, qu'il est à peu près exact de dire que rien de ce qui s'invente ne lui est étranger.

Dans ce vaste domaine, s'il est une partie où se fasse manifestement sentir l'intervention du savoir en même temps que de l'art de l'Ingénieur. mélange de connaissances théoriques élevées, d'expérience pratique et d'ingéniosité, c'est bien l'artillerie. Nous en aurons une preuve de plus en nous entretenant d'une pièce qui est un des chefs-d'œuvre de cette arme; je veux parler du canon de 75, pièce fameuse qui a déjà rendu à notre pays et dont il peut de nouveau attendre les plus grands services, qui a été vite populaire et a gagné la confiance du soldat à tel point qu'elle représente dans la guerre actuelle, outre sa puissance effective de destruction, un de ces facteurs moraux que nous envisagions tout à l'heure.

Il y a une vingtaine d'années, une pièce de campagne, si perfectionnée fût-elle, comme le canon de 90, consistait encore essentiellement en un tube de métal, convenablement fretté, qui était *lié* par deux tourillons à l'affût. Une hausse implantée vers la culasse permettait de donner au tube l'inclinaison correspondant à la distance de l'objectif. Pour réaliser le pointage en direction, on déplaçait tout le système de l'affût et du canon. Après chaque coup tiré, la pièce ayant reculé, les servants la ramenaient plus ou moins péniblement en batterie, en soulevant la crosse et agissant à bras sur les roues de l'affût, et le pointage était à recommencer, toujours avec la série complète des mêmes opérations.

Ces dispositifs et ces procédés surpassaient, il est vrai, et de beaucoup, dans la pièce de 90, ceux qui, pendant de très longues années et peu auparavant encore, avaient été en usage. Et cependant ils ne suffisaient plus aux exigences de l'artillerie de campagne, réclamant un canon qui fût, en particulier, à tir rapide.

L'infanterie avait modifié sa tactique. En suite du perfectionnement des obus et des fusils et de l'adoption des poudres sans fumée inaugurées par M. Vieille, elle avait été conduite, pour se défendre contre l'efficacité croissante du tir, à ne plus opérer qu'avec des formations peu denses, habiles à se dissimuler et à se déplacer promptement. Pour atteindre des objectifs aussi clairsemés et aussi fugaces, l'artillerie avait besoin d'un maté-

riel nouveau, admettant un réglage rapide et capable de distribuer ses projectiles en peu de temps sur le terrain à frapper.

Vers 1891-92, on se préoccupait en divers pays des conditions que devrait remplir ce matériel. On a gardé très vivant le souvenir de ce que professait alors sur la matière le général Langlois dans son cours de l'École de guerre. Il avait surtout en vue une pièce de petit calibre. Il spécifiait qu'il fallait tendre à éviter la manœuvre de la remise en batterie en immobilisant l'affût durant le tir, à accroître la vitesse du chargement par l'emploi d'une cartouche métallique comprenant, comme la cartouche du fusil, la charge et le projectile précédemment séparés, et à s'arranger de manière à pratiquer couramment le tir indirect, c'est-à-dire le tir sur but invisible, afin de pouvoir se cacher à l'ennemi derrière des crêtes.

L'immobilité de l'affût, outre divers avantages que nous expliquerons, en permet un fort important qui peut être dès maintenant indiqué et qui consiste dans l'addition de boucliers destinés à protéger le personnel. Si l'affût est soumis au recul, les servants doivent, au moment du tir, se placer en dehors des roues; dès lors un abri, porté par l'affût et entre les roues, ne leur est pas constamment utile et ne se justifie pas assez. Au contraire, si l'affût demeure en place, il devient rationnel de le munir de boucliers, derrière lesquels opèrent les servants pendant l'exécution du feu. Quant au calibre de la nouvelle pièce, il devait

être relativement faible, puisque, par destination, elle consommerait beaucoup de munitions et que celles-ci ne devraient pas être lourdes pour être transportées en grande quantité.

Les belles leçons, souvent citées, du général Langlois et l'influence réelle qu'elles ont pu exercer sur les idées de ses auditeurs, ne sont pas à considérer comme le point de départ exclusif de la révolution qui allait s'accomplir dans l'artillerie de campagne et ne doivent pas faire oublier que, dès 1889, le capitaine — aujourd'hui général — Sainte-Claire Deville avait construit une pièce du calibre de 57 millimètres, qui existe au musée de l'Armée, aux Invalides, et qui comportait déjà bien des perfectionnements essentiels dont bénéficie aujourd'hui cette artillerie et sur lesquels nous reviendrons : hausse indépendante, collimateur, boucliers d'affût, sièges d'affût, caisson blindé à retournement, débouchoir double.

Bientôt, en 1894, par les remarquables travaux du lieutenant-colonel Deport, qui utilisait notamment un frein à longue course, fut prouvée la possibilité d'établir un canon de plus fort calibre, qui réunît les qualités désirées. Le lieutenant-colonel Deport ayant pris sa retraite, le capitaine Sainte-Claire Deville fut chargé de continuer les recherches dans la voie où l'on savait qu'on pouvait s'engager avec profit. Il se mit aussitôt à la besogne et, avec la précieuse collaboration du capitaine Rimailho, s'en acquitta de la façon la plus prompte et la plus heureuse. Le général

Deloye, directeur de l'artillerie, fut le soutien constant et plein de foi des deux éminents officiers et eut le grand mérite de les aider de toutes ses forces à triompher de puissantes oppositions.

Le fruit de tous ces efforts fut la pièce de campagne qui est dite de 75 parce qu'elle a un diamètre intérieur de 75 millimètres. Dès 1897, elle était complètement mise au point par les capitaines Sainte-Claire Deville et Rimailho et adoptée. L'œuvre étonne autant par l'ingéniosité que par la hardiesse et le nombre des solutions nouvelles; dans l'épreuve à laquelle elle est actuellement soumise, elle se montre à la hauteur de toutes les espérances qu'elle avait fait concevoir.

En décrivant maintenant cette pièce (1), je donnerai quelques détails qu'on trouvera peut-être un peu arides; mais ils paraissent nécessaires pour que le sujet soit compris. Et d'ailleurs on accordera volontiers l'attention qu'elle mérite à une machine de guerre qui a sans doute largement contribué à écarter le péril où nous avait jetés une brusque agression et à rétablir notre situation militaire.

Le canon proprement dit consiste en un tube d'acier, long de 33 calibres, creusé intérieurement de rayures et renforcé extérieurement du côté de

---

(1) Consulter notamment : *le Règlement provisoire de manœuvre de l'artillerie de campagne, titre IV; Notes sur le canon de 75*, par le capitaine Morlière; *l'Artillerie de campagne*, par le lieutenant-colonel E. Buat, remarquable ouvrage où l'on puise abondamment aujourd'hui.

la culasse par une frette, le manchon ; sur sa partie avant, il est entouré d'une enveloppe en bronze, la jaquette. Manchon et jaquette sont reliés entre eux et au tube intérieur par deux frettes (frette de calage et frette-écrou), empêchant tout glissement par rapport au tube.

La culasse *(fig. 1)* comprend essentiellement une partie mobile, ou vis de culasse AA, qui

Schéma de la culasse, vue de l'arrière de la pièce.

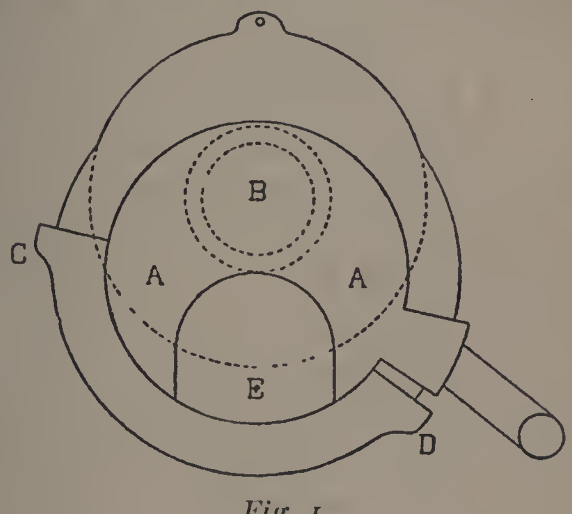


Fig. 1.

tourne, dans la masse du manchon, autour d'un axe idéal parallèle à celui de l'âme B du canon et situé au-dessous. Elle est pourvue de filets qui s'engagent dans des filets correspondants du manchon et qui permettent le mouvement de rotation. Dans une de ses positions d'arrêt, la vis de culasse présente devant la chambre de chargement une échancrure E par laquelle on

peut introduire la cartouche; dans l'autre position d'arrêt, à 180° de la première, elle présente devant la même chambre une partie pleine qui la ferme. Les déplacements de la vis de culasse se produisent au moyen d'une poignée fixée sur une manivelle qui vient, aux extrémités de sa course, heurter une butée d'ouverture C ou une butée de fermeture D. Ainsi un seul mouvement suffit pour ouvrir la chambre et un seul pour la fermer; il en fallait trois, pour chacune des deux opérations, avec le canon de 90.

Le canon étant chargé et la culasse fermée, la mise de feu se fait par un marteau à ressort qu'on écarte de sa position de repos avec un tire-feu; on lâche ce tire-feu; le marteau pousse un percuteur qui traverse toute la vis de culasse et qui vient frapper l'amorce de la cartouche au centre du culot. Pour que cette amorce soit atteinte par la pointe du percuteur, la culasse doit être complètement fermée; ce qui fournit très simplement une garantie contre les mises de feu prématurées. Au reste, un linguet, qui est porté par la manivelle et dont le pène vient s'engager dans une gâche du manchon, maintient la culasse fermée. Le coup parti, une masselotte qui existe dans la poignée et dont le déplacement résulte, par inertie, du recul, agit sur le linguet de manière à le faire sortir de la gâche, et dès lors on peut de nouveau ouvrir la culasse; par le fait même de cette ouverture, la masselotte se trouve ramenée, grâce au jeu d'une came, dans sa situation anté-

rieure. Quand l'idée est venue de la masselotte agissant sur le linguet par le recul même, j'imagine que l'auteur a ressenti un petit tressaillement de plaisir; l'idée était jolie. Bien des inventeurs — je ne parle pas de ceux du 75 — ignorent le succès; mais ils ne sont pas si malheureux qu'on croit; d'abord, en cherchant à leur gré, ils s'abandonnent librement à leur passion, ce qui n'est pas si commun; ensuite ils ont les joies intimes de leurs trouvailles.

Au moment du départ du coup, il importe d'empêcher les fuites des gaz de la poudre du côté de la culasse; car il faut, autant qu'il est possible, garder toute la pression pour la propulsion du projectile. La douille métallique et son culot, fortement appuyés, à ce moment, par les gaz mêmes sur la paroi intérieure du canon, réalisent ici une obturation excellente.

Un extracteur débarrasse le canon de la douille vide. Il consiste en un système de deux branches verticales, qui sont mobiles autour d'un axe horizontal, qui se logent dans des évidements présentés par la masse du manchon et qui viennent, par suite du mouvement d'ouverture de la culasse, saisir le bourrelet de la douille et projeter celle-ci brusquement en arrière de la pièce.

Ceux à qui le canon de 90 a été familier, aperçoivent déjà, par les indications succinctes qui viennent d'être données, de très notables perfectionnements effectués au profit du canon de 75 relativement à la rapidité du tir. Mais les plus

importants nous restent encore à voir. Ils découlent de l'immobilité obtenue pour l'affût. Disons tout de suite que, dans le but de fixer l'affût, on le munit, à l'extrémité de la crosse, d'une bèche qui s'enfoncera dans le sol. Ce seul moyen ne suffirait pas. Il n'empècherait pas, à supposer le matériel assez solide pour résister aux efforts brusquement développés lors d'un tir, que la résultante des forces appliquées à l'affût ne passât alors au-dessus de la bèche; et l'affût, se cabrant, serait déplacé. L'immobilité cherchée n'a été réalisé que grâce à l'interposition d'un frein entre le canon et l'affût et grâce aux qualités éminemment remarquables du frein adopté.

Le recul subi par toute arme à feu, à l'instant où elle tire, se conçoit aisément. A cet instant, il y a en réalité deux projectiles, l'obus ou la balle d'une part, l'arme avec ses accessoires d'autre part, projectiles qui sont soumis à la même force, que rien ne distingue au fond si ce n'est leurs poids, et qui partent dans des directions opposées. L'arme prend une vitesse que le général Sébert a appris à mesurer et qui atteint un maximum dont la valeur dépend de diverses circonstances, poids de l'arme, du projectile et de la charge, nature de la poudre. En ce qui concerne le canon de 75, on calcule que cette vitesse maximum, en recul libre, serait de 9 mètres par seconde, le poids reculant étant de 500 kil. et le projectile pesant 7 k. 24. On a par là une idée de la force vive que le frein doit absorber et dont il restituera, d'ailleurs,

une partie pour la remise de la pièce en batterie.

Le système de frein du canon de 75 est dit hydropneumatique à récupérateur; il est fondé sur la résistance offerte au mouvement d'un piston par un liquide et par de l'air enfermés dans un espace clos. Le fonctionnement d'un tel frein peut s'assimiler à celui d'un ressort. On aperçoit, sans calcul, que plus sera développée en longueur la course permise par ce ressort, moins sera grande la pression antagoniste qu'il devra exercer pour remplir son office; (car, pour un même travail à effectuer, il faut une force d'autant moindre que le point d'application de cette force se déplace davantage). Donc en allongeant la course du frein, on réduira l'effort transmis par ce frein à l'affût, et l'on arrivera à éviter le soulèvement de l'affût et à réaliser la condition essentielle à sa fixité. Tout bien combiné, la course a été choisie ici de 1 m. 20 environ pour le frein.

Le corps du frein est relié à l'affût par des tourillons. Il porte une glissière sur laquelle repose et se déplace la partie inférieure du canon. Le canon se trouve très exactement guidé dans la glissière. Des galets de roulement coopèrent à ce résultat; il y en a notamment sous la bouche une paire A qui, dans le recul, commence à être en prise et à courir sur son chemin de roulement un peu avant que d'autres, B, quittent le corps du frein et qui ainsi empêche le canon de tomber du côté de la culasse (*fig.* 2). Lorsqu'on tire, le corps du frein

ne bouge pas. Mais le piston, dont la tige a sa tête clavetée avec le dessous de la culasse, est entraîné dans le mouvement de recul de cette dernière.

Quant à la disposition intérieure du frein, elle a été tenue secrète. Il est probable qu'elle cessera bientôt de l'être, puisque nos ennemis, pour qui on la cachait, ont aujourd'hui le loisir de l'étudier sur des pièces passées entre leurs mains. A l'indication déjà donnée du principe de son fonction-

Schéma du système canon-frein.

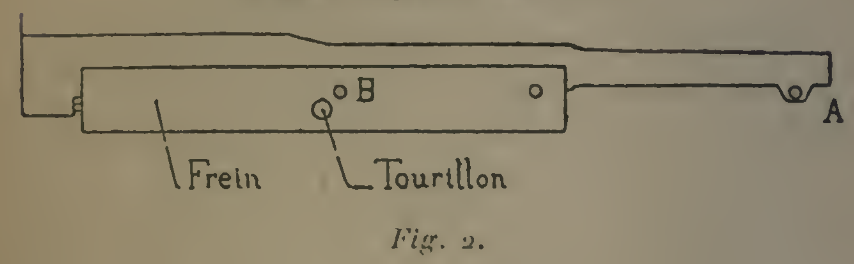


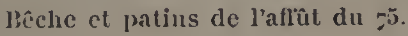
Fig. 2.

nement, nous n'ajouterons qu'un mot : on comprend que la masse d'air enfermée, comme il a été dit, dans l'appareil, est le milieu élastique, qui, en se détendant, après avoir subi une forte compression par le recul, fera récupérer une partie de la force vive absorbée et ramènera la pièce en batterie, et que cet air, même après sa détente, doit rester sous une forte pression pour vaincre les frottements et assurer le très prompt retour du canon à sa position normale par rapport au corps du frein, la durée totale du recul et du retour en batterie étant de l'ordre de la seconde.

Il existe une clavette qui, on l'a vu, assure la

liaison entre la tige du piston du frein et le canon. Si l'on enlève cette clavette et qu'on fasse partir un coup, le canon s'élance en arrière. C'est un moyen simple pour mettre une pièce de 75 hors d'usage. C'est, d'autre part, une démonstration pratique de la réalité de ce fait, que le canon est un projectile.

A propos de l'affût, nous avons déjà signalé la


Bèche et patins de l'affût du 75.

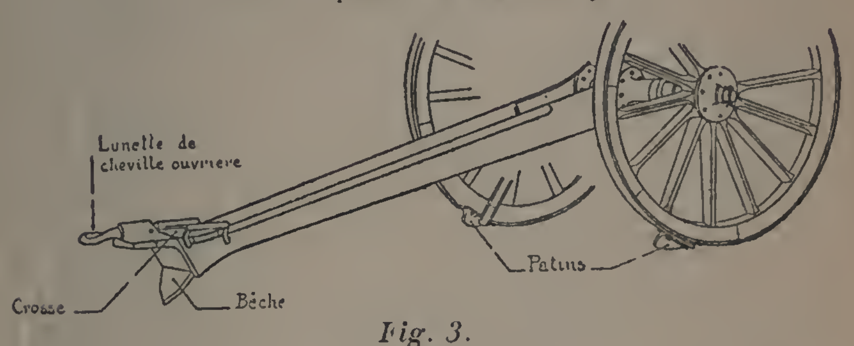


Fig. 3.

bèche de crosse comme l'organe essentiel chargé de le fixer sur le sol. Il faut mentionner aussi un frein de roues spécial, qui concourt au même but. Ce frein, extrêmement ingénieux, sur les dispositifs duquel nous ne saurions insister ici, comporte notamment deux solides patins métalliques, qui sont armés, par-dessous, de parties saillantes s'engageant dans le sol *(fig. 3)*. Avant le tir, on fait monter les roues sur les patins par une très simple manœuvre appelée abatage. De cette manière, l'affût, bien appuyé sur trois points invariables, la bèche et les deux patins, peut conserver l'immobilité si désirable.

Une autre particularité très intéressante de l'affût consiste en ce qu'il est susceptible de se déplacer sensiblement sur l'essieu des roues par « coulissement ». Cet essieu est fileté vers son milieu ; il ne tourne pas sur lui-même, mais il engrène avec un écrou qui est solidaire de l'affût et qui entraîne celui-ci à gauche ou à droite par le mouvement d'un volant placé sur l'un des flasques. L'affût pivote alors autour de la bèche comme centre. Il en résulte bien que l'une des roues a une tendance à reculer, l'autre à avancer ; néanmoins la fixité du trépied qui supporte le canon est très sensiblement conservée. On notera que l'effort du recul se trouve toujours normal à la bêche (ce qui n'est pas réalisé dans le 77 allemand), et cela contribue à la bonne résistance des pièces de métal qui fatiguent et encore à la conservation de l'immobilité. Ainsi, sans procéder à un nouvel abatage, on est à même de changer, entre certaines limites, savoir 50 millièmes à gauche et 50 à droite (le millième sera défini plus loin), l'azimut dans lequel tire le canon et de pratiquer en particulier, le tir une fois réglé, ce qu'on nomme le « fauchage », mot qui fait suffisamment image pour marquer non pas seulement le mouvement du canon, mais ses effets sur le personnel visé.

Enfin l'affût de 75 présente un avantage tout à fait remarquable en ce qu'il permet d'avoir une hausse indépendante du canon, c'est-à-dire du tube qui est soumis au recul. L'application du

principe dit de la hausse indépendante a, comme on le reconnaîtra aisément, des conséquences considérables. Voyons bien en quoi il consiste.

Supposons qu'une pièce A *(fig. 4)* ait à atteindre un objectif B situé au-dessus du plan horizontal AH passant par A. On sait que son axe devra prendre une certaine direction AX qui sera tangente en A à la trajectoire AB. L'angle de la droite AB avec le plan horizontal passant par A, ou S, s'appelle angle de site et l'angle BAX, ou T, est l'angle de tir. Le premier se mesure pour

Angle de site et angle de tir.

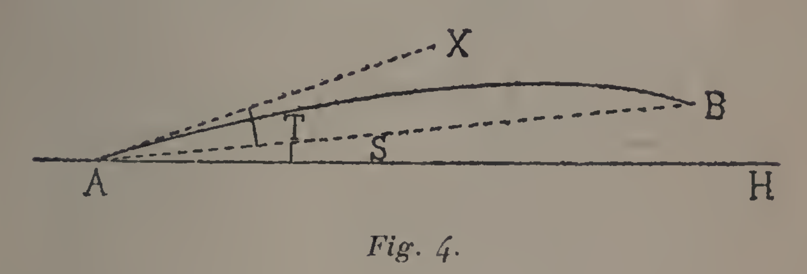


Fig. 4.

chaque objectif B. Le second est donné par une table d'après la distance AB; cette distance suffit, car il se trouve que l'angle de tir, pour une trajectoire tendue comme celle du 75, reste à peu près le même, quel que soit l'angle S, quand ce dernier angle varie dans les limites courantes.

Les dispositifs de la pièce de 75 permettent d'incliner successivement le frein, qui porte le canon, et par suite le canon lui-même, des deux angles S et T, en sorte que l'axe du canon prend sur l'horizon l'inclinaison totale S + T; (si l'ob-

jectif B était au-dessous de AH, l'inclinaison correspondrait non plus à la somme, mais à la différence des deux angles). A cette fin, le frein est relié à l'affût par un mécanisme comportant, comme pièce intermédiaire, un bâti composé principalement de deux lames parallèles telles que L, bâti mobile, comme le frein, autour des tourillons G et dénommé « berceau » (*fig.* 5). On

Schéma du berceau et de la hausse.

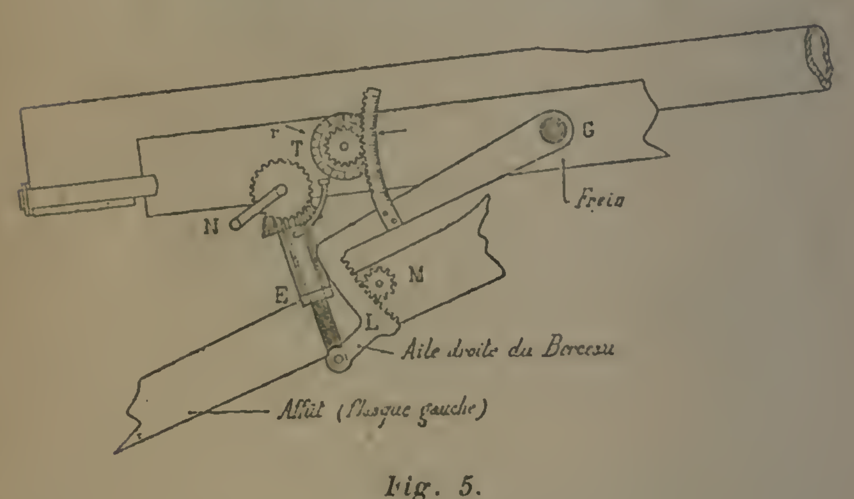


Fig. 5.

donne l'angle de site au moyen d'un volant (non représenté) qui commande le pignon M et est porté par le flasque gauche de l'affût, en se guidant sur les indications d'un niveau situé du même côté; puis ce volant est calé. Pour donner l'angle de tir ou la « hausse », on emploie une disposition que nous schématisons ici pour faciliter les explications. On agit sur la manivelle N (située à droite) qui, par l'écrou E, fait monter ou des-

cendre le frein tournant autour de G comme centre, et cela jusqu'à ce que le tambour T présente en face d'un repère *r* la division correspondant à la distance admise de l'objectif. Constatons tout de suite que, vu la répartition, à gauche et à droite de l'affût, des organes à faire mouvoir, deux servants opérant chacun isolément peuvent concourir à la manœuvre, qui en est ainsi accélérée. Ces deux servants n'ont plus à se tenir en dehors des roues au moment du tir, aussitôt que le premier ou les deux premiers coups ont été tirés et que, la bèche étant enfoncée dans le sol, la pièce est bien « assise »; ils travaillent dès lors à leur aise derrière l'abri des boucliers et n'éprouvent aucune gène, par le recul du canon, dans le maniement des organes qui les concernent.

Voilà donc comment on pointe la pièce en hauteur. Ce n'est pas tout; il faut la pointer en direction, c'est-à-dire faire passer le plan du tir, le plan vertical de la trajectoire, par le but à atteindre. En réalité, il n'y a pas exactement un plan de la trajectoire, car la trajectoire n'est pas plane ; sans parler de l'influence du vent qui peut faire sortir le projectile du plan vertical dans lequel il se meut initialement, il y a l'influence de la rotation de ce projectile sur lui-même qui produit systématiquement une dérivation latérale. Mais négligeons cette déviation qui est relativement faible (2 mètres à 2.000 mètres et 6 mètres à 3.000 mètres) et qu'on corrigera pendant le tir.

La direction convenable est donnée au canon au moyen d'appareils de pointage comprenant essentiellement un support qui est solidaire du berceau, une colonne de laiton adaptée à ce support et une lunette de visée, dite collimateur, qui surmonte la colonne et dont l'axe optique lui est perpendiculaire. Deux droites, l'une verticale, l'autre horizontale, désignées sous le nom de « lignes de foi » (la première nous servira seule ici), apparaissent dans le champ du collimateur et se croisent en son milieu. La colonne peut tourner autour de son axe avec le collimateur et ses déplacements se lisent sur un plateau que nous pouvons assimiler à un simple cercle gradué. La graduation est spéciale. Elle utilise une unité nouvelle, « le millième », c'est-à-dire très sensiblement l'angle sous lequel on voit 1 mètre à une distance de 1.000 mètres; il y a exactement 6.400 « millièmes » dans la circonférence complète.

Ce n'est pas le lieu d'insister sur la commodité qu'offre le millième. Bornons-nous à dire que l'expérience prouve qu'il se prête à des mesures variées, qu'il contribue à les rendre rapides et suffisamment précises et que, somme toute, il rend de très réels services.

Maintenant, pour comprendre l'utilité et l'usage des appareils de pointage dont le principe vient d'être indiqué, il est nécessaire de se figurer dans quelle situation se trouve aujourd'hui sur le terrain une batterie qui a à battre un objectif. Le tir

de toutes les armes s'est tellement perfectionné, il est devenu si prompt et si juste, quoique inégalement dans les diverses armées, qu'une batterie, de même qu'une compagnie d'infanterie, doit se montrer le moins possible à l'ennemi. Et, mieux qu'une compagnie qui par moment est bien à peu près obligée de se démasquer, la batterie peut s'établir et faire feu, en restant entièrement cachée. A cet effet, elle se défile derrière un écran tel qu'une crête, à la condition, bien entendu, que la crête ne soit pas si haute que les projectiles ne passent plus par-dessus. Et remarquons qu'il n'est possible de remplir cette condition que parce que, du fait de la pesanteur, la trajectoire est courbe ; si la trajectoire était, comme les rayons lumineux, rectiligne, aucune crête ne pourrait s'interposer pour dérober la batterie aux regards des adversaires.

N'étant pas vus, les servants de la batterie ne voient pas ; c'est le capitaine qui, placé à quelque distance, en un point convenablement choisi, ou monté sur une échelle spéciale faisant office d'observatoire, voit pour eux l'objectif et qui, par suite, va les guider pour l'atteindre, en fournissant toutes les indications nécessaires. Il signale un repère, par exemple, un sommet de clocher ou un autre point facile à distinguer sans confusion possible et bien visible de la batterie ; (à défaut de repère existant, on peut utiliser des jalons qu'on plante à une certaine distance). Soit α l'angle du plan vertical passant par la pièce et par l'ob-

jectif avec le plan vertical passant par la pièce et le repère choisi. Sans entrer dans le détail des opérations, on conçoit la manœuvre : pour pointer une pièce en direction, on fixe le collimateur dans une position telle que le plan passant par l'axe optique et la ligne de foi verticale fasse un angle α, compté dans le bon sens, avec le plan vertical passant par l'axe du canon ; on fait ensuite coulisser l'affût sur l'essieu jusqu'à ce que la ligne de foi rencontre le repère ; le canon se trouve alors dirigé sur le but.

Telles sont, en principe, les opérations essentielles du pointage en hauteur et en direction qui se pratiquent avec le canon de 75, opérations qui, on le devine, n'ont rien de définitif pour toute la durée d'un tir et qui, par le jeu tant de la hausse que du coulissement, sont susceptibles de correction en vue d'augmenter la précision ou de suivre un but qui se déplace.

Arrivés à ce point, nous sommes bien à même de nous rendre compte des immenses avantages résultant de l'immobilité du trépied sur lequel s'appuie l'affût. C'est grâce à cette immobilité que, les premiers coups une fois tirés, les servants peuvent rester entre les roues, faisant vite et bien leur besogne et protégés par les boucliers ; c'est grâce à cette immobilité qu'il ne se produit pas de dépointage sensible au cours du tir et qu'on retire tout le bénéfice de l'indépendance de la hausse et du canon au point de vue de la rapidité ; c'est encore cette immobilité qui favorise la conservation

d'organes relativements délicats, faisant en quelque manière ressembler la pièce de 75, où pourtant sur certaines parties se développent des efforts de plus de 100.000 kilogrammes, à un instrument digne de figurer dans un cabinet de physique.

Il n'est pas inutile, d'ailleurs, de noter qu'il y a une grande différence entre l'immobilité, pour ainsi dire absolue, réalisée ici et une immobilité approximative, laquelle obligerait à procéder fréquemment à un nouveau pointage.

Nous comprenons aussi maintenant l'intérêt qu'il y a à faire marquer séparément l'angle de site et l'angle de tir, dont on pourrait avoir l'idée de ne marquer, en une seule fois, que la somme ou la différence, comme dans les anciennes pièces de campagne. D'abord, on évite, soit au début du tir, soit dans le cours du tir lorsqu'on a à modifier la hausse, le calcul de sommes ou de différences qui, quoique simple, peut être facilement la source d'erreurs. Ensuite il devient possible de donner l'angle de site en millièmes et l'angle de tir ou hausse en distance; ce qui est particulièrement commode, notamment dans le réglage du tir en hauteur. Enfin, à cause de la séparation des deux angles, on a le berceau et sur ce berceau on peut fixer le support de l'appareil de pointage qui est là à sa vraie place, car dans la recherche de la meilleure hausse, pour un objectif déterminé, il n'a pas à bouger.

L'ensemble des heureuses dispositions qu'on

vient de voir conduit à ce résultat, que les artilleurs d'il y a vingt ou trente ans eussent jugé pour ainsi dire invraisemblable, à savoir qu'on peut pointer la pièce et en corriger le pointage *pendant* qu'on la charge et qu'elle tire.

Il y a un accessoire inséparable de la pièce de 75, c'est son caisson avec le débouchoir. Contentons-nous à présent de nommer ces deux objets ; nous y reviendrons.

Le moment est venu de parler des projectiles. Nous dirons d'abord qu'ils sont lancés par une charge de 720 grammes de poudre B S P (AM), laquelle se compose de lamelles de 140 millimètres de long et de 18 millimètres de large sur 0 m/m 9 d'épaisseur. Cette poudre, qui n'a d'une poudre que le nom, puisqu'on l'emploie en « fagots », est une matière assez translucide, souple, d'apparence cornée. Elle brûle à l'air libre bien tranquillement ; on arrête à son gré la combustion d'un brin en soufflant dessus. Mais en vase clos, sous l'effet de la pression P que développent les gaz dégagés, cette même substance prend une vitesse de combustion V extrêmement grande, selon la loi : $V = KP^{2/3}$ (K, coefficient variant avec la poudre), et fait explosion. La pression atteint 2.400 atmosphères à l'intérieur du canon. La combustion s'effectue sans produire de résidu solide et par suite sans fumée. Toutefois, pour obtenir l'inflammation simultanée de tous les éléments de la charge, on ajoute à la poudre ci-

dessus, comme aux autres poudres sans fumée, un appoint de 1 ou 2 $^0/_0$ de poudre noire ; la combustion très rapide de cette dernière développe la pression nécessaire pour assurer l'inflammation de tous les brins à la fois et l'explosion ; cette poudre noire donne un peu de fumée.

Revenons aux projectiles eux-mêmes. Ils méritent actuellement autant d'attention que la pièce. Au temps où l'artillerie de campagne envoyait des boulets ronds et pleins, leur poids seul était à citer. Mais de nos jours les projectiles présentent les plus savantes organisations, dont dépendent leurs effets et sur lesquelles on pourrait parler très longuement.

Deux sortes de projectiles sont tirés par le canon de 75 : l'obus à balles ou « shrapnel », du nom de l'officier anglais qui l'inventa, il y a un siècle, et l'obus explosif dit « à mélinite ».

L'obus à balles (*fig. 6*), du poids de 7 k. 2, comprend une enveloppe en acier, cylindro-ogivale, dans laquelle sont contenues 300 balles de 12 grammes en plomb durci à l'antimoine, balles mélangées à de la poudre noire comprimée. (Il y a aussi un obus à balles, dit à charge-arrière, où la charge est au voisinage du culot, tandis que les balles sont noyées dans un mélange de cire et de résine ; je ne m'y arrête pas.) L'obus est traversé suivant son axe par un tube, perforé dans le bas, au moyen duquel se transmet à la base du chargement le feu venant de la fusée située à l'avant. Quand est produite ainsi l'explosion de la charge,

l'ogive, simplement vissée, saute aisément et le corps de l'obus fonctionne comme une petite bouche à feu arrivant au milieu de l'ennemi pour y projeter, avec l'ogive, sa mitraille intérieure.

Obus à balles et fusée à double effet (Schéma).

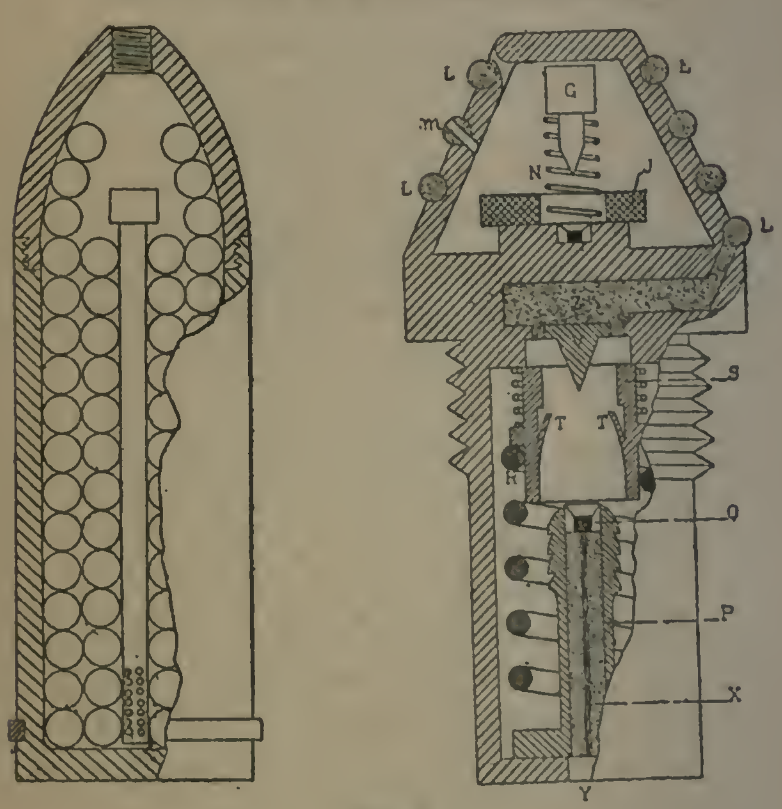


Fig. 6.

Dans certains cas, en outre, les remarquables propriétés incendiaires de l'obus chargé comme on vient de le voir trouvent leur emploi.

La fusée de l'obus à balles est « fusante » ou quelquefois « à double effet », c'est-à-dire en même temps fusante et percutante.

La fusée fusante a pour mission de faire éclater l'obus à une certaine époque de sa course, à une hauteur convenable au-dessus de l'objectif à atteindre. Elle comporte essentiellement une spirale contenant une poudre qui brûle très régulièrement. Au départ du projectile, la spirale s'allume en un de ses points et, quand elle a brûlé jusqu'à une certaine extrémité, elle enflamme le chargement intérieur de l'obus ; l'obus éclate. Ce qu'il s'agit de bien régler pour produire l'éclatement au point voulu, c'est la longueur à brûler de la spirale. Avec la fusée à double effet, on peut faire éclater l'obus soit dans sa course aérienne avant le moment de son arrivée sur le sol ou sur un obstacle, soit à ce moment précis ou même un peu après.

On comprend la nécessité d'une combustion parfaitement régulière de la spirale. Celle-ci consiste en un étroit tuyau de plomb dans lequel se trouve, constituant un cordon continu et bien uniforme, une poudre noire. La poudre a été rendue très homogène par une longue trituration et est mélangée avec de la colophane destinée à ralentir la combustion (1).

---

(1) On peut rapprocher de cette spirale la mèche Bickford servant à déterminer une explosion après un temps variable selon la longueur. Cette mèche comporte une âme en poudre noire. La combustion s'y propage avec une vitesse de l'ordre de $0^{m},70$ par minute. On l'allume à un bout; à l'autre, se trouve un petit détonateur qui renferme 2 grammes de fulminate de mercure et qui fait partir une masse plus ou moins forte d'explosif, par exemple, un pétard de cavalerie

Il existe des variantes dans les dispositions des fusées, qui toutes se vissent sur l'œil de l'obus. Voici un modèle bien connu de fusée à double effet qui fera saisir le fonctionnement de ces engins *(fig. 6)*. Lorsque le projectile est lancé par le canon, un concuteur G vient, par inertie, frapper une capsule de fulminate et mettre ainsi le feu à une rondelle de poudre comprimée J, dont les gaz chauds allument la spirale fusante L en un point *m* où a été percé, avec le débouchoir, un trou établissant la communication entre la chambre N et la spirale.

Considérons, d'autre part, le système percutant de la fusée à double effet. Il est constitué par le mobile P, porteur d'une amorce Q et maintenu, au moyen du ressort R, éloigné de la masselotte S. Au départ du projectile, la masselotte reste, comme G, en arrière, par inertie et vient coiffer le mobile porte-amorce P, sur lequel elle se fixe par les agrafes T. Quand la vitesse du projectile s'annule ou diminue brusquement contre un obstacle, l'ensemble de P et de S comprime le petit ressort entourant S; l'amorce Q choque la

---

(130 grammes de mélinite fondue et un peu de mélinite pulvérulente pour l'allumage).

On ne confondra pas cet engin avec le cordeau détonant, petit tube d'étain rempli d'acide picrique, dans lequel un détonateur au fulminate détermine la production de l'onde explosive se propageant à raison de 7.000 mètres par seconde; au lieu de servir à donner naissance à une explosion au bout d'un temps donné et relativement long, ce cordeau est au contraire utilisé pour relier plusieurs masses d'explosif qu'on veut faire partir simultanément.

pointe V, détone et communique le feu à la composition fusante X du porte-amorce P, puis par Y à la charge intérieure de l'obus.

Admettons que le système fusant ait été débouché en un point *m* tel que la spirale ait brûlé jusqu'à son extrémité avant la rencontre de l'obstacle par le projectile; la poudre Z s'enflamme, remplit le système percutant de ses gaz chauds et, par Y, fait éclater l'obus qui n'est pas encore sur l'obstacle; le tir est dit « fusant ».

Si, au contraire, l'obstacle est atteint avant que la spirale ait brûlé entièrement, c'est le système percutant qui détermine l'explosion, sur l'obstacle; le tir est dit « percutant ». Quand il est décidé d'avance que le tir sera percutant, ou bien on emploie des fusées réduites au système percutant, ou bien on ne débouche pas de trou *m*, « d'évent », comme on dit. Mais l'obus à balles n'est pas normalement utilisé au tir percutant.

Nous avons dit qu'une autre sorte d'obus était en usage pour le canon de 75, l'obus explosif. Ce dernier, qui pèse 5kil,3, consiste en un récipient en acier, rempli d'explosif; il en contient 825 gr.; il est étamé et verni intérieurement, de manière à éviter l'oxydation du fer et la formation d'un picrate trop sensible (1). La plus grande partie de

---

(1) Une catastrophe fameuse, survenue il y a environ 45 ans dans la maison Fontaine, place de la Sorbonne, a appris à redouter la sensibilité des picrates. Les Allemands séparent l'explosif du métal par l'interposition de carton et de papier.

la capacité est occupée (*fig. 7*) par de la mélinite fondue (plus exactement, mélange de 60 o/o de crésylite avec 40 o/o de mélinite). Le chargement est achevé avec de la mélinite pulvérulente, au sein de laquelle plonge une gaine vissée sur l'œil de l'obus. Dans cette gaine se loge un système d'amorçage, comprenant une fusée et un

Obus explosif et détonateur.

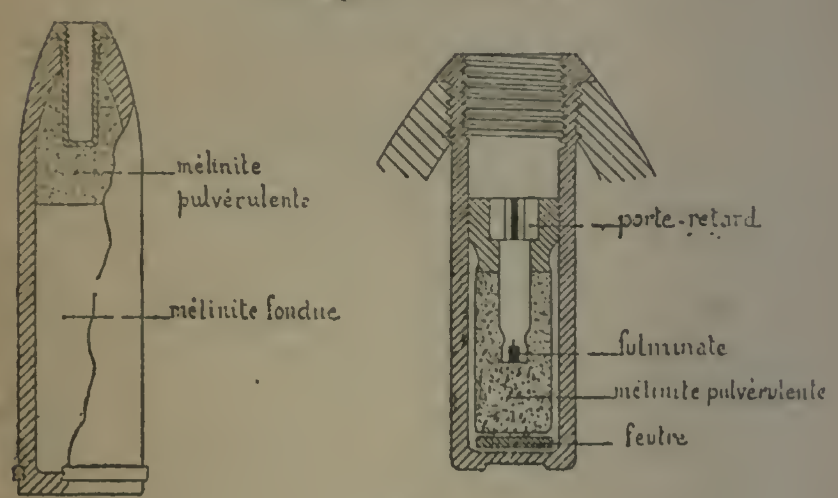


Fig. 7.

détonateur spécial, lequel est ici nécessaire parce que la fusée seule ne suffirait pas à produire la déflagration de la charge de mélinite de l'obus.

La fusée est simplement percutante : nous ne la représentons pas. Dans le détonateur (*fig. 7*) se trouvent : une charge de mélinite pulvérulente, une amorce de fulminate et un bouchon porte-retard. Une rondelle de feutre existe entre le détonateur et le fond de la gaine. A la rencontre

d'un obstacle, la fusée enflamme le bouchon porte-retard, dont la composition correspond à une combustion relativement lente ; puis l'amorce est à son tour enflammée et fait partir la mélinite ; l'obus éclate un instant après le contact de l'obstacle, ce qui lui permet soit de pénétrer dans la masse à détruire soit, si l'angle de chute est assez faible, de rebondir pour ne s'ouvrir qu'en l'air. En éclatant, il dégage une fumée noire facile à observer. (1)

On conçoit aisément que le débouchage d'une fusée fusante doive s'effectuer avec une précision extrême. Si l'on tire à une distance de 3000 mètres, où la vitesse restante du projectile est voisine de 300 mètres à la seconde, il faut, pour régler l'éclatement à 30 mètres près sur la trajectoire, limiter la durée de combustion de la spirale à 1 dixième de seconde près. Le matériel de 75 utilise un appareil, le « débouchoir », exécutant l'opération d'une façon à la fois précise et rapide. Il est adjoint au caisson, lequel, blindé sur ses parois exposées aux projectiles ennemis, renversé de 90° et placé à $0^{m},50$ de la pièce durant le tir, présente ses 72 cartouches comme dans une armoire et, tout près d'elles, au pied de l'armoire,

(1) La décomposition de la mélinite se fait principalement selon l'équation : $2\ [C^6\ H^2\ (AzO^2)^3\ OH] = CO^2 + H^2O + 11\ CO + 2H^2 + 3\ Az^2$, c'est-à-dire sans fumée ; mais il y a toujours une portion de la matière qui se décompose avec production de charbon.

le débouchoir. Celui-ci (*fig.* 8) est constitué par une sorte de caisse, où l'on voit deux cavités ogivales, les « boîtes d'ogives », A, A, sur lesquelles on place les cartouches, le culot en l'air, et un cadran B, qui est gradué en distances et se meut


Débouchoir.

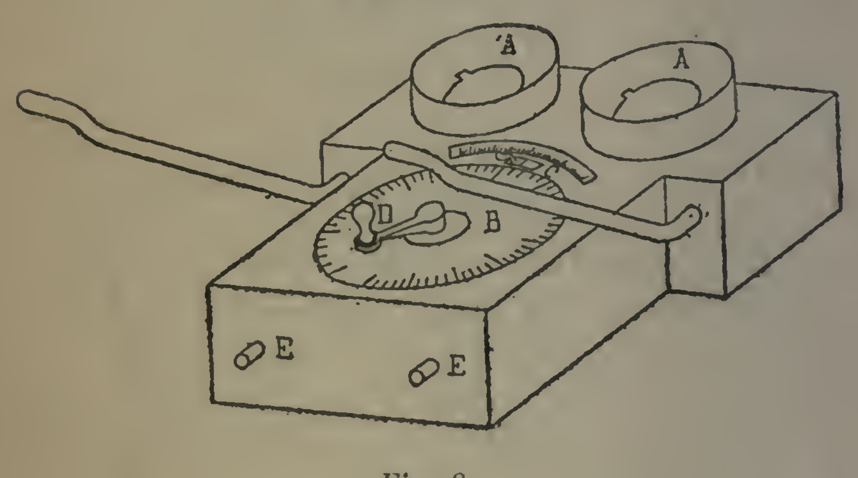


Fig. 8.

devant un repère C. Un tenon porté par chaque obus s'adapte à une mortaise dans chaque boîte d'ogive. Deux longs poinçons, parallèles aux grands côtés de la caisse et apparaissant en E, E, se dirigent vers A et sont commandés par des leviers. Le mécanisme intérieur de la caisse est tel que, si l'on tourne la manivelle D jusqu'à ce que le trait indiquant sur B la distance du but vienne en face du repère C, les deux boîtes d'ogives tournent d'un mouvement hélicoïdal de façon que le point de chacune des deux spirales fusantes qui se place devant le poinçon corres-

pondant est justement celui où il faut percer la spirale pour produire l'éclatement à la distance considérée. Dès lors, en agissant sur les leviers, on fait mouvoir les poinçons et l'on perce les deux spirales aux points voulus.

Si, au cours du tir, on reconnaît utile de modifier un peu la distance d'éclatement, on déplace d'une certaine longueur le repère C, qui est mobile, le long d'un arc gradué appelé « correcteur » ; on change ainsi, aussi légèrement qu'il est besoin, le point où l'évent est débouché sur la fusée.

On aperçoit bien l'influence du débouchoir sur la rapidité du tir : il permet de faire porter le réglage relatif au moment de l'éclatement une fois pour toutes sur un appareil unique, en ce qui concerne les obus qui sont à tirer dans les mêmes conditions. Il évite, en outre, les erreurs qui pourraient se produire, si l'on réglait chaque obus séparément. Au cas où l'appareil vient à manquer, on débouche chaque obus avec une pince spéciale.

Ayant appris à préparer le tir, demandons-nous comment se répartiront les coups que nous allons porter. A ce point de vue, le tir fusant et le tir percutant sont bien différents.

Quand un obus à balles éclate en un point A de sa trajectoire descendante BA, ses balles se distribuent également dans un volume qui est initialement un cône de révolution AMN ayant

pour axe la droite AT tangente à BA en A (*fig. 9*); ce cône se déforme sensiblement par l'effet de la pesanteur agissant sur les balles et devient le volume ACD. Reçues sur un plan horizontal HH′, les balles dessinent un ovale EF où elles se distribuent sans uniformité, la moitié se trouvant dans EGK et l'autre moitié GKF. L'ovale varie

Gerbe d'un tir fusant d'obus à balles.

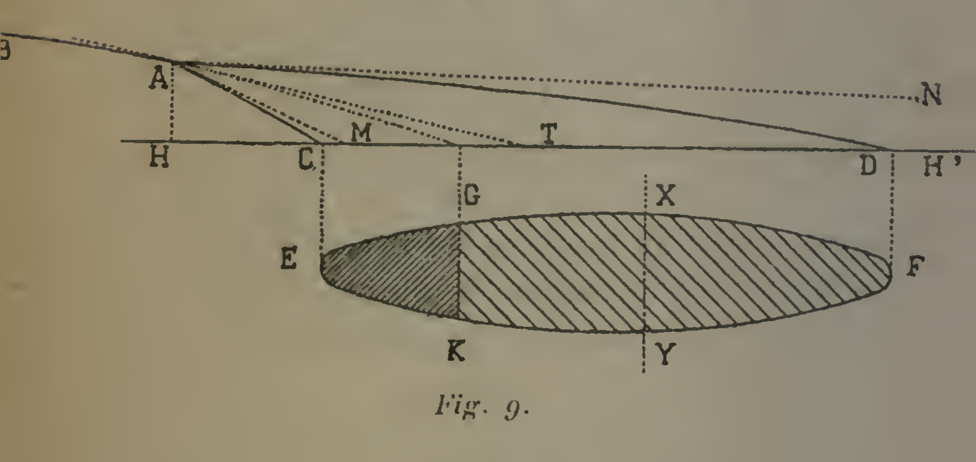


Fig. 9.

avec la vitesse restante du projectile en A, laquelle se compose avec la vitesse de rotation et la vitesse due à l'explosion pour assigner leur course aux balles. Il varie naturellement aussi avec l'inclinaison de la trajectoire et la hauteur d'éclatement. Pour un obus à balles de 75, éclatant à 2.500 mètres et à la « hauteur-type » de 3 millièmes, l'ovale a environ 25 mètres de large et 300 mètres de long. A partir d'une distance de 170 mètres environ de E, au delà d'une droite XY, on admet que la vitesse restante des balles n'est

pas suffisante pour mettre un homme hors de combat; de plus, sur les bords de l'ovale, les balles sont peu fournies, si bien qu'on regarde seulement comme « efficacement battue », « arrosée » ainsi qu'on dit communément, une bande de 20 mètres de largeur. Pour une série de coups tirés dans les mêmes conditions, on compte, vu les écarts qui se produisent nécessairement d'un coup à l'autre, que la portion de l'ovale efficacement battue a environ 25 mètres de large et 200 mètres de long.

Le tir de l'obus explosif est percutant. Il doit, par suite, satisfaire à une condition relative à l'angle de chute. S'il tombe sous un angle supérieur à 8 ou 10°, correspondant en terrain horizontal à une distance de 4.000 mètres, il pénètre dans le sol et fait « fougasse », en ne projetant que des éclats sans grande vitesse. Si, au contraire, il tombe sous un angle inférieur à 8 ou 10°, il ne fait dans le sol qu'une rigole et ricoche pour éclater en l'air.

La gerbe des éclats ne ressemble pas à celle des balles du shrapnel. Elle se compose de 3 parties : la gerbe d'ogive, projetée devant en éventail ; la gerbe de culot, projetée derrière en éventail peu ouvert (ces deux gerbes étant peu fournies) ; la gerbe de la partie cylindrique de l'obus, projetée latéralement et comprenant le plus grand nombre des éclats. Beaucoup d'éclats affectent la forme de lamelles découpées normalement aux parois. Ils partent avec une très grande vitesse, que l'irrégu-

larité de leurs formes leur fait bientôt perdre dans l'air. A 20 mètres du point d'éclatement, on ne les considère plus comme réellement dangereux; plus près, ils ont des effets destructeurs considérables.

Tandis que les obus à balles s'emploient uniquement contre le personnel, les obus explosifs se tirent non seulement contre le personnel, mais contre les objets matériels. Ils peuvent anéantir des murs, des maisons, des bois, des canons.

Il n'est guère possible de parler du 75 sans dire un mot de son rival, le 77 allemand. Adopté en 1906, ce dernier est visiblement inspiré du 75, plus ancien de neuf ans.

Le canon actuel de 77 allemand est le 77 modèle 1896 dont on a conservé le tube, changé la culasse et l'affût. L'affût actuel comprend deux parties : un petit affût supérieur qui porte le berceau, le frein et son récupérateur à ressorts, ainsi que l'appareil de pointage en direction; un affût inférieur, ou affût proprement dit, pourvu d'une large bêche, d'une vis de pointage en hauteur, de sièges pour servants, de freins à corde et à patins, de boucliers.

Le petit affût peut prendre, pour le pointage en direction, un mouvement de rotation par rapport au grand; mais, plus il s'éloigne de sa position moyenne, plus l'ensemble de la pièce tend à se déverser sous l'effet du recul; il en résulte une variation continuelle du pointage. Le coulissement de notre 75 sur son essieu a justement l'avantage

de faire toujours porter l'effort du recul sur l'axe de la bêche et de permettre cette immobilité de l'affût sur laquelle nous avons insisté.

Nous pouvons résumer, par quelques chiffres, la comparaison entre les deux canons de campagne de 75 et de 77, (d'après le lieutenant-colonel Buat.)

	Canon de 75.	Canon de 77.
Calibre	75 m/m.	77 m/m.
Longueur	2 m. 47 = 33 calib.	2 m. 10 = 27 calib. 3.
Poids du projectile	7 k. 2 ou 5 k. 3.	6 k. 85.
Vitesse initiale	529 m.	465 m.
Vitesse à 1,000 m	413 m.	369 m.
— 3,000 m	290 m.	279 m.
Nombre et poids des balles du shrapnel	300 à 12 gr.	300 à 10 gr.
Zone dangereuse pour un but de 1 m. de haut à 1,000 m.	41 m.	31 m.
3,000 m.	7 m. 6.	6 m. 5.
Poids de la pièce en batterie	1.100 k.	950 k.
Poids de la pièce sur avant-train	1.900 k. (1).	1.800 k. (1).
Poids du caisson chargé	1.950 k. (1).	1.850 k. (1).
Nombre maximum de coups par minute	20.	»

Le canon allemand a pour lui de ne pas exiger d'abatage et, une fois en batterie, d'être plus léger et d'avoir un caisson plus léger aussi, enfin de présenter une surface de boucliers plus grande. En revanche, il est notablement inférieur sur des points essentiels : stabilité, pointage, fauchage, réglage des fusées, tir en profondeur, rapidité du tir et qualités balistiques. Au résumé, on pouvait

(1) Moins les servants (3 en France, 5 en Allemagne).

prévoir que les 120 pièces de 75 par corps d'armée que nous possédons vaudraient mieux que les 144 pièces du corps allemand.

L'expérience actuelle confirme manifestement la supériorité du 75, supériorité qui lui vient d'ailleurs, pour une bonne part, de ses projectiles. Comme nous le disions en commençant, il a vraiment tenu toutes ses promesses; il les a dépassées.

Qui donc eût imaginé, il y a quelques mois, que le canon de 75 serait appelé à une telle destinée? Les Français n'y songeaient guère. Le cours de leurs pensées n'est-il pas d'ordinaire bien différent?

Nous, Français, si profondément, si passionnément épris que nous soyons de notre pays, et justement quand nous le sommes le plus, nous aimons, en général, à nous considérer, non pas seulement comme des Français, mais un peu comme des citoyens du monde, en ce sens que nous avons le goût du bien universel et du libre essor offert à tout ce qu'il y a de noble et de bon dans les diverses parties de l'humanité. Nous n'avons pas rêvé d'imposer notre culture à qui que ce fût. Nous avons compté plutôt que ce qu'elle peut contenir de profitable à tous se répandrait et s'établirait par la séduction même du bien. Nous aurions souhaité, sans exclure l'espoir de certaines réparations, que la puissance de nos armements nous fût principalement un porte-res-

pect, nous assurant la tranquillité nécessaire à l'accomplissement de notre grand idéal. En un mot, nous n'avions pas soif de voir le canon de 75 devenir l'instrument de grandes tueries.

Mais, puisque d'autres l'ont voulu, il faut qu'il fasse sa tâche pour nous aider à faire la nôtre et que, dans cette guerre que nous nous sommes efforcés d'écarter et que nous devons maintenant poursuivre obstinément, il nous serve fidèlement jusqu'au bout. Déjà il apparaît comme un des garants de la victoire. Que chacun de nous salue donc avec reconnaissance les créateurs de cette pièce merveilleuse ; ils ont bien mérité de la patrie.

PARIS-NANCY. — IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915

11e Série b

J. VIOLLE

MEMBRE DE L'INSTITUT

DU RÔLE DE LA PHYSIQUE A LA GUERRE



DE L'AVENIR DE NOS INDUSTRIES PHYSIQUES APRÈS LA GUERRE

AVEC 26 FIGURES

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS | NANCY
RUE DES BEAUX-ARTS, 5-7 | RUE DES GLACIS, 18

66 Prix : 75 centimes.

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915

11e Série b

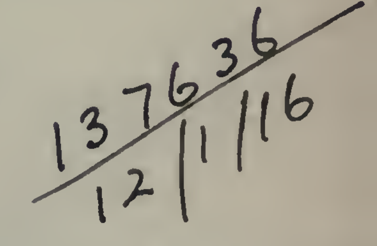
J. VIOLLE

MEMBRE DE L'INSTITUT

DU RÔLE DE LA PHYSIQUE A LA GUERRE

DE L'AVENIR DE NOS INDUSTRIES PHYSIQUES APRÈS LA GUERRE

AVEC 26 FIGURES

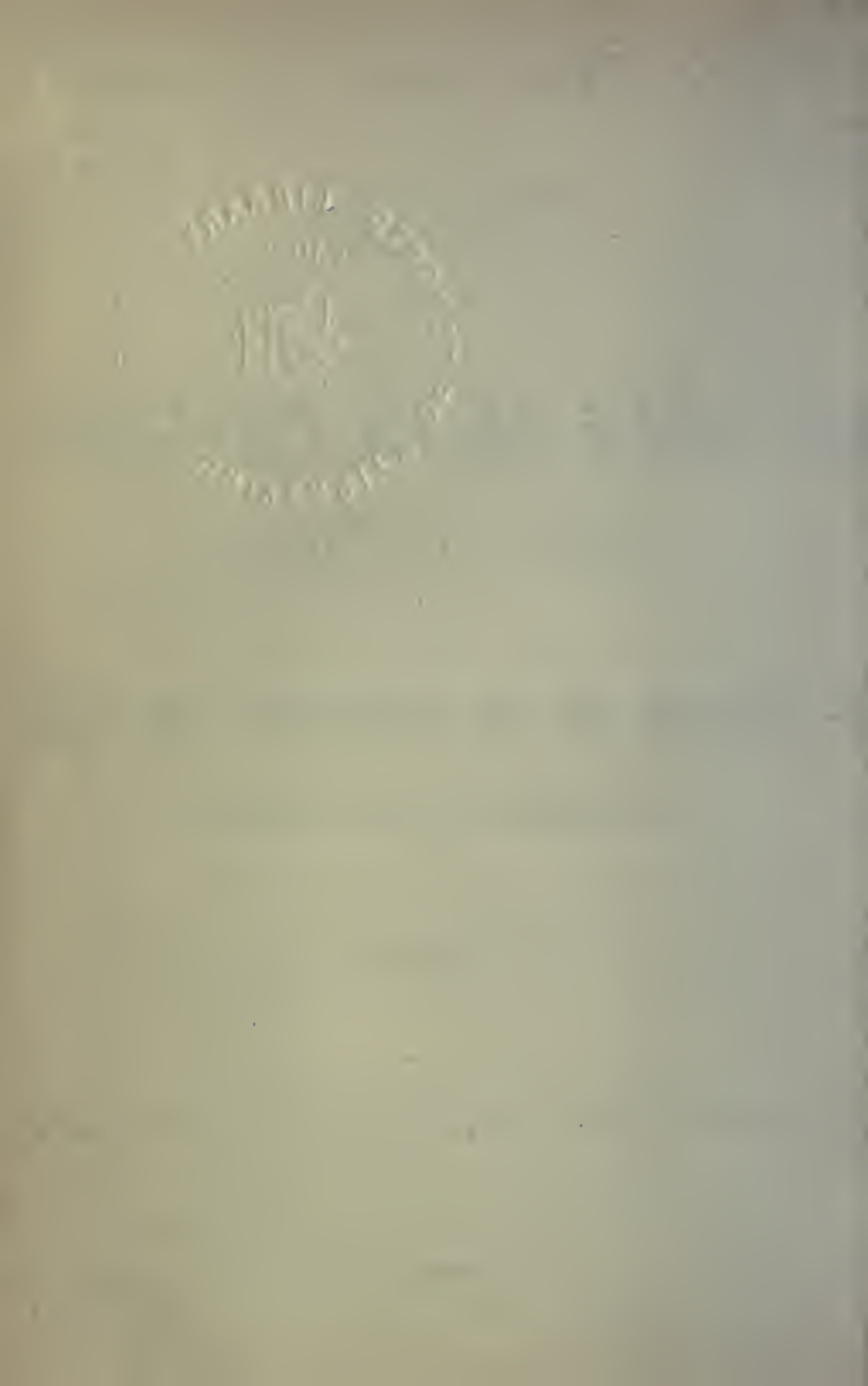


LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS | NANCY

RUE DES BEAUX-ARTS, 5-7 | RUE DES GLACIS, 18

1915



3

DU
RÔLE DE LA PHYSIQUE
A LA GUERRE

DU

RÔLE DE LA PHYSIQUE

A LA GUERRE [1]

Le phénomène grandiose qui seul actuellement occupe nos esprits et nos cœurs — la guerre — est en même temps le plus inquiétant au point de vue de la philosophie naturelle, de ce que l'on appelait autrefois la physique.

Aussi ancien que les premiers hommes, aussi universel que la race humaine, il nous apparaît avec un caractère de nécessité qui nous trouble singulièrement.

« L'homme étant donné avec sa raison, ses sentiments et ses affections, comment la guerre est-elle humainement possible ? » Cette question s'est posée de tout temps aux plus nobles esprits. Sans remonter bien haut, nous voyons La

(1) Conférence faite au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris, le 10 décembre 1914.

Bruyère s'élever avec son énergie habituelle contre cette extravagance humaine. « Mais plus la guerre est folle, moins elle est explicable. » C'est ce que remarque Joseph de Maistre, pour qui « la loi si terrible de la guerre n'est cependant qu'un chapitre de la loi générale qui pèse sur l'univers : loi de carnage permanent, prévu et ordonné dans le grand tout. La guerre est donc divine en elle-même, puisque c'est une loi du monde. Divine elle est dans la gloire mystérieuse qui l'environne et dans l'attrait non moins inexplicable qui nous y porte. Ce n'est pas, conclut-il, sans une grande et profonde raison que le titre de *Dieu des armées* brille à toutes les pages de l'Écriture sainte. »

Et n'est-ce point la même affirmation que nous avons trouvée dans la bouche du Kaiser, avec cette nuance toutefois qu'il considérerait volontiers le Dieu allemand comme son associé dans l'organisation du grand Empire auquel la France devait servir d'humble satellite ?

S'il ne nous appartient pas de soutenir ici la théorie théologique de la guerre, nous devons du moins reconnaître qu'au point de vue scientifique, la guerre actuelle renverse toutes nos idées de progrès. Et par le mot de *progrès,* je demande instamment que l'on ne m'attribue pas d'entendre le développement des commodités de la vie par l'application des découvertes inces-

santes de la science. Bien que simple physicien, je veux parler de l'adoucissement des mœurs qui semblait devoir résulter nécessairement du rapprochement plus intime des hommes les plus éminents de toutes les nations.

Nous faisons en outre une de ces constatations qui sont fréquentes aux hommes de science et bien propres à les rappeler à une juste humilité : nous croyions volontiers que, par suite de la puissance même des engins que les militaires avaient combinés d'après les découvertes modernes, une guerre ne saurait durer aujourd'hui plus de quelques semaines ; c'est précisément le contraire qui a lieu.

Laissons donc de côté toute idée *a priori,* et restons dans le domaine des faits, puisque aussi bien c'est le seul qui nous convienne.

*
* *

Vous connaissez tous le ludion. Vous savez comment, sans changer le volume de ce petit appareil, on peut le faire descendre dans le liquide au-dessus duquel il surnage, l'arrêter à la profondeur que l'on veut, le faire remonter, simplement en provoquant un changement de la masse de liquide qu'il renferme. De même, en modifiant le lest d'un navire par l'introduc-

tion ou l'expulsion d'une certaine masse d'eau dans ses ballasts, on l'amènera à plonger ou on le fera remonter à la surface jusqu'à sa ligne normale de flottaison. L'idée est ancienne : on pourrait, suivant Aristote, la faire remonter au temps d'Alexandre le Grand.

Cependant, la réalisation en est toute récente, parce qu'elle n'était possible que dans l'état actuel de nos connaissances. En effet, la variation du lest compromet la stabilité du bâtiment et en modifie l'assiette. De plus, la pression augmentant d'une atmosphère par 10 mètres de profondeur, sans descendre avec Jules Verne au fond des abîmes, et en nous bornant au sous-marin de guerre, le seul qui nous intéresse présentement, on rencontre déjà de sérieuses difficultés à plonger assez bas pour passer librement sous un vaisseau ennemi, ce qui demande 15 mètres d'eau au-dessus du point le plus haut du périscope. Enfin, on tend de plus en plus à exiger qu'un sous-marin soit autonome, c'est-à-dire qu'il puisse de lui-même, après une plongée, se remettre en état d'en effectuer une nouvelle, en d'autres termes qu'il puisse rétablir au moyen de ses moteurs de navigation en surface l'énergie dépensée en plongée.

On n'est arrivé que progressivement à cette conception. Les premiers sous-marins avaient

pour but, en plongeant, d'aller attacher une mine au flanc d'un navire ennemi et de s'enfuir aussitôt pour regagner leur point de départ. C'étaient donc surtout des garde-côtes. Actuellement le rôle du sous-marin s'affirme de plus en plus comme bâtiment d'attaque. Il ne faut donc plus se le figurer toujours comme un petit bâtiment en forme de cigare, exposé sans cesse au danger d'un accident effroyable, dont les conséquences pourraient d'ailleurs être conjurées aisément par des moyens simplistes. Le sous-marin actuel ne diffère guère extérieurement d'un torpilleur que par son pont dénudé et hermétique. On a d'abord distingué ces nouveaux sous-marins sous le nom de *submersibles* ; mais la dénomination de *sous-marin* a prévalu pour tout bâtiment capable de plonger et de lancer sous l'eau des torpilles contre les navires ennemis. Une torpille n'est elle-même qu'un petit sous-marin, inhabité, d'une demi-tonne environ, portant une forte charge d'explosif qui détonera quand la torpille viendra frapper la coque visée. Elle se lance généralement d'une distance comprise entre 100 et 500 mètres; et, sous l'action d'un moteur à air comprimé, elle parcourt cette dernière distance en moins d'une demi-minute, avec une exactitude parfaite.

La torpille et le sous-marin réunis forment une arme d'autant plus redoutable que les coups

en sont le plus souvent imprévus, je ne dis pas nécessairement efficaces (1).

Quand le bâtiment menacé aperçoit son ennemi naviguant en surface à quelques kilomètres, il pourra, s'il est assez rapide, l'atteindre et lui porter un coup d'éperon funeste, avant que le sous-marin lui échappe sous l'eau où il recouvrerait tous ses moyens d'action, contre lesquels une fuite rapide avec crochets continuels sera généralement la meilleure tactique. On construit aujourd'hui des contre-torpilleurs, des croiseurs, qui filent jusqu'à 30 nœuds, c'est-à-dire qui parcourent $30 \times 1.852 = 55.560$ mètres en une heure, soit plus de $4^{km},5$ en cinq minutes. Il importe donc grandement à un sous-marin de pouvoir disparaître en moins de cinq minutes. Le sous-marin étant d'abord amené par introduction d'eau dans ses ballasts à être presque complètement immergé, on effectue la plongée par le jeu de gouvernails horizontaux qui règlent le mouvement en hauteur comme le vieux gouvernail vertical règle le mouvement dans le sens horizontal (2). Ces gouvernails horizontaux restent d'ailleurs nécessaires pendant

(1) Il existe d'ailleurs des moyens de défense que nous n'avons pas à examiner ici.

(2) Nous ne parlons point de l'inclinaison que, par un déplacement de poids, on peut donner à l'axe du bâtiment pour faciliter la descente (avec pointe négative) ou la remontée (avec pointe positive).

toute la plongée, le principe d'Archimède ne s'appliquant plus dans la simplicité que nous rappelions au début : le volume de la coque comprimée change avec la profondeur, la densité de l'eau varie d'un point à l'autre, les mouvements du bâtiment et du liquide entrent en jeu, de sorte que l'équilibre se modifie sans cesse entre le poids et les poussées tant statiques que dynamiques.

Ce serait chose bien instructive que de suivre le développement du sous-marin depuis le curieux petit bâtiment en forme d'œuf vertical, imaginé par l'Américain Bushnell lors de la guerre de l'Indépendance des États-Unis et monté par un seul homme à la fois moteur, pilote et attacheur de mines. Je me bornerai à vous montrer l'initiative de la France dans chacune des étapes qui ont conduit au puissant engin de nos jours.

En 1860, sur l'idée, émise par le capitaine de vaisseau Bourgois, de substituer au moteur humain, seul employé jusqu'alors en plongée, un moteur à air comprimé, l'ingénieur de la marine Charles Brun construisit un sous-marin, le *Plongeur*, qui fut lancé à Rochefort en 1863 et dans lequel se trouve l'indication de tous les progrès réalisés depuis. Ce bâtiment, très en avance sur son époque, avait la forme d'un fuseau aplati, à section triangulaire, mesurant

$42^m,50$ de longueur, 6 mètres de largeur et 3 mètres de hauteur ($4^m,50$ en y comprenant le kiosque). Il présentait un cloisonnement étanche très complet, une vaste chambre de manœuvre, un kiosque de visée ; il était muni de tout un système destiné à tenir la plongée (gouvernails horizontaux, cylindres à réglage télescopique, hélice à axe vertical) ; il était même pourvu d'un bateau de sauvetage détachable. Il déplaçait 420 tonnes en surface et s'immergeait par une introduction de 33 tonnes de lest liquide. Sa *flottabilité* au-dessus de l'eau, c'est-à-dire la différence entre le déplacement en plongée D et le déplacement en surface *d*, exprimée suivant l'usage en centièmes de D, ou le rapport $\frac{D-d}{D}$, était donc $\frac{33}{453}$, soit 7 %. Le moteur à air comprimé permettait de faire en surface 5 nœuds (environ 9 kilomètres à l'heure) et en plon-

Fig. 1. — *Plongeur.*

gée 4 nœuds (environ 7^{km},5 à l'heure). L'air comprimé servait également à la remontée en surface par évacuation convenable de l'eau des ballasts.

La voie était désormais ouverte : on s'y engagea de différents côtés ; mais ce fut encore un Français, l'ingénieur de la marine Laubeuf, qui fit le pas décisif. Le *Narval* peut en effet être considéré comme le prototype du sous-marin moderne, dont la puissance offensive grandit chaque jour.

Les études effectuées, sous l'initiative de l'amiral Aube, par les ingénieurs Gustave Zédé



FIG. 2. — *Gustave-Zédé* (en marche).

et Romazotti et caractérisées par l'établissement du *Gymnote* (1889) et du *Gustave-Zédé* (1893), établirent qu'un sous-marin, en forme de cigare, à moteur électrique, pouvait tenir convenablement la mer et lancer, en plongée, des torpilles automobiles. Si on se porte au tableau ci-après, présentant les caractéristiques des types de bâtiments français les plus importants, on remarquera le saut hardi fait, non sans difficulté, du *Gymnote* au *Zédé*. Frappé de ces résultats, le ministre Lockroy ouvrit, en 1896, un concours libre dont les conditions minima, fixées par l'éminent directeur des constructions navales Bertin et marquant bien l'état des choses à cette époque, étaient : vitesse, 12 nœuds; distance totale franchissable sans rechargement ou *rayon d'action*, 100 milles à 8 nœuds; distance franchissable sous l'eau, 10 milles à 8 nœuds; deux torpilles prêtes à être lancées. Trois projets furent primés et mis ultérieurement à exécution sous les noms de : *Morse* (ingénieur Romazotti), *Farfadet* (ingénieur Maugas) et *Narval* (ingénieur Laubeuf), les deux premiers du type *Zédé* plus ou moins perfectionné, le troisième désigné par son auteur comme « torpilleur submersible », ce qui en traduisait nettement la pensée mère. Le *Narval*, dont le succès fut très grand, constituait en effet un sous-marin en cigare logé dans une car-

casse de torpilleur. Une deuxième innovation contribuait à lui conférer les qualités d'un bâtiment de haute mer, à savoir l'emploi pour la navigation en surface du moteur à vapeur, que

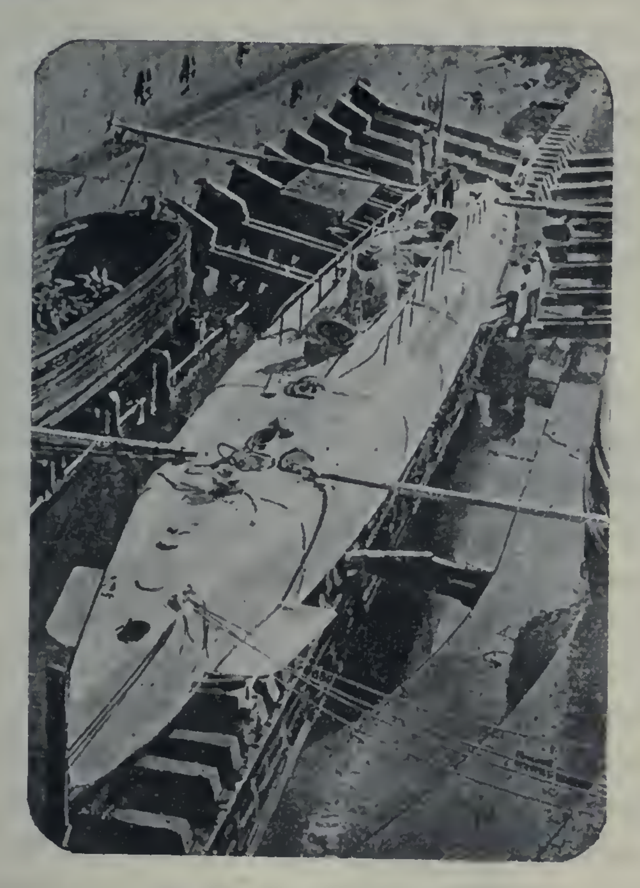


Fig. 3. — *Narval* (au bassin).

des études récentes sur le chauffage des chaudières au pétrole permirent d'adopter malgré l'exiguïté des espaces disponibles dans la coque intérieure d'un sous-marin. Par là même, le

bâtiment devint autonome, les accumulateurs, qui actionneront le moteur électrique en plongée, pouvant être rechargés par le moteur thermique pendant la marche en surface. Tous les bâtiments que l'on construira désormais seront autonomes, qu'ils dérivent du *Zédé* ou du *Narval*, qu'il s'agisse du sous-marin *X* (1902, Romazotti), dans lequel on rencontre pour la première fois deux arbres et par suite deux hélices, ou des *Émeraude* (1906), dans lesquels l'ingénieur Maugas fit le premier usage du moteur Diesel, ou du *Pluviôse* (1907, Laubeuf), tristement célèbre [1], qui filait $12^n,5$ (23 kilomètres à l'heure) en surface, 8 nœuds (15 kilomètres à l'heure) en plongée, son rayon d'action en surface étant de 1.600 milles (3.000 kilomètres) à 9 nœuds. Du même modèle dérivent les sous-marins type *Brumaire*, construits en 1909 et munis de moteurs Diesel ; de même l'*Archimède* : muni de deux chaudières à pétrole, alimentant deux moteurs à vapeur d'une puissance totale de 1.800 chevaux, il atteint une vitesse de $15^n,2$ (28 kilomètres à l'heure) en surface et 10 nœuds ($18^{km},5$ à l'heure) en plongée, avec un rayon d'action de 2.500 milles (4.600 kilomètres) à 10 nœuds en surface et de 100

---

(1) Naviguant en plongée, il fut pris en écharpe à sa partie supérieure par le paquebot le *Pas-de-Calais* et coulé net.

milles (185 kilomètres) à 5 nœuds en plongée; il est armé de sept tubes lance-torpilles.

En 1910, M. Maurice, aujourd'hui directeur de l'École d'application du Génie maritime, construisit un bâtiment d'étude, le *Charles-Brun*, dans lequel il réussit à réaliser la marche en plongée à la vapeur par le moyen d'une chaudière accumulatrice, extrêmement originale, qui valut à son auteur le prix Plumey de l'Académie des Sciences. Les tubes de cette chaudière sont à double paroi et logent entre leurs parois une substance dans laquelle une grande quantité de chaleur s'accumule automatiquement aux débuts de la chauffe et se maintient pendant que le bâtiment navigue en surface, la chaudière fonctionnant comme avec des tubes ordinaires. Mais, sitôt les feux éteints, l'accumulateur thermique va se décharger et maintenir la marche des ma-



Fig. 4. — Le *Charles-Brun*.

chines pendant plusieurs heures, faisant ainsi un appel éloquent aux moteurs nouveaux, communs pour la marche en surface et en plongée. D'autre part, un progrès notable était accompli par une distribution exacte du lest liquide avec encombrements minima, et par une réduction avantageuse des surfaces à propulser jointe à des formes marines, le coefficient de flottabilité, voisin de 20 %, assurant les hauteurs de superstructure nécessaires à la tenue en mer. Ce beau travail a été le point de départ de nouveaux perfectionnements, qu'attestent deux sous-marins, de types différents, construits récemment dans nos chantiers, le *Mariotte,* dérivé des anciens *Zédé,* et le *Gustave-Zédé,* 1913, sans parler de ceux qui suivent.

TABLEAU

Tableau des principaux types de sous-marins français (1).

BATIMENT	DATE	INGÉNIEUR	LONGUEUR	LARGEUR	DÉPLACEMENT		FLOTTABILITÉ	MOTEUR DE SURFACE
					en surface	en plongée		
			mètres	mètres	tonnes	tonnes	°/o	
Plongeur	1860	Bourgois, Brun	42,50	6,00	420	453	7	Air comprimé
Gymnote	1886	Zédé, Romazotti	17,20	1,80	293	31	5 1/2	Électrique
Gustave-Zédé	1893	Romazotti	48,50	3,30	266	274	3	—
Morse	1897	Romazotti	36,50	2,75	136	143	5	—
Narval	1898	Laubeuf	34,00	3,75	117	202	42	Vapeur
Farfadet	1899	Maugas	41,35	2,90	186	200	7	Électrique
X	1902	Romazotti	37,40	3,12	168	176	4 1/2	Benzol
Émeraude	1906	Maugas	44,65	3,90	392	426	8	Diesel
Pluviôse	1907	Laubeuf	51,00	5,00	400	550	27	Vapeur
Brumaire	1909	Laubeuf	51,00	5,00	400	550	27	Diesel
Archimède	1909	Hutter	64,00	6,80	577	810	29	Vapeur
Charles-Brun	1910	Maurice	44,00	4,00	355	450	20	—
Mariotte	1911	Radiguer	65,00	4,30	530	630	15	Diesel
Gustave-Zédé	1913	Simonot	74,00	6,00	800	1.070	25	Vapeur

(1) Ce tableau est presque textuellement extrait de RADIGUER, *La Navigation sous-marine* (Paris, Doin, 1911), ouvrage auquel nous avons fait plus d'un emprunt, ainsi qu'aux « Conférences faites en 1913 aux élèves de l'École polytechnique » par MM. MAURICE, MARBEC, POINCET et MERCIER.

Après avoir exposé avec un certain détail l'histoire du sous-marin en France, son véritable pays d'origine, nous devons dire quelques mots de ce qui a été fait à l'étranger.

Aux États-Unis, où l'on suivait avec un intérêt particulier l'évolution du sous-marin, un concours fut ouvert en 1893 dans lequel deux concurrents se placèrent en première ligne, Holland et Lake ; le premier restait attaché aux formes circulaires du type Zédé, tandis que son concurrent cherchait à se rapprocher des bâtiments de surface. Un essai comparatif de l'*Octopus* (Holland) et du *Simon-Lake* eut lieu en mai 1907 et se termina à l'avantage de l'*Octopus*. Ainsi, l'on préférait en Amérique les bâtiments du type Zédé, alors qu'en France les Laubeuf affirmaient leur supériorité, ce qui montre bien la complexité de la question, dans laquelle le talent de l'ingénieur maritime intervient par tant de côtés, comme l'a si bien fait voir l'auteur du *Charles-Brun*, dont la Compagnie Lake a depuis adopté les formes.

TABLEAU

BATIMENTS	DATES	LONGUEUR	LARGEUR	DÉPLACEMENT		FLOTTABILITÉ	VITESSE maximum	
				en surface	en plongée		en surface	en plongée
		m.	m.	tonnes	tonnes	%	nœuds	nœuds
Holland nº 9 ou *Adder* . .	1900	19,9	3,6	106	120	11,5	8,5	7
Octopus	1905	32	4,2	238	275	13,5	11	8
Lake *Simon-Lake*	1906	26		195	250	22	9	6
Seal.	1909	48		400	500	20	15	9,5

En Angleterre, on ne s'occupa que tardivement et presque à regret des sous-marins ; et, jusqu'à ces derniers temps, on s'en tint aux bâtiments, à forme circulaire, dérivés des Holland, mais dont on accrut progressivement le déplacement et la puissance de façon à atteindre une vitesse de 15 nœuds.

La flottille sous-marine japonaise a suivi une marche analogue.

Pressée par la guerre russo-japonaise, la Russie s'adressa à diverses compagnies, Holland, Lake et Germania, d'où une flottille assez hétérogène, au milieu de laquelle sont à noter tout particulièrement les navires qui résultent des travaux si originaux de l'ingénieur Drzewiecki. Aujourd'hui, la Russie s'oriente, comme nous et même plus hardiment, du côté des grands bâtiments de haute mer.

L'Allemagne a montré ici, comme partout, son

esprit éminemment pratique. En 1905 seulement, quand elle jugea la question suffisamment mûre, elle se mit à construire avec l'aide de M. d'Ecquevilley, ancien élève étranger de notre École du Génie maritime, des sous-marins présentant avec les nôtres une ressemblance singulièrement flatteuse, qui s'est manifestée encore dans des types plus récents construits aux chantiers Germania-Krupp. Ces sous-marins sont généralement désignés par la lettre U affectée d'un indice marquant leur ordre de construction, les derniers construits étant sans doute d'un fort tonnage (1).

Aujourd'hui, des deux côtés, sont donc des sous-marins qui ont déjà beaucoup fait parler d'eux et qui joueront certainement un rôle important pendant cette guerre.



Comme le sous-marin, le dirigeable navigue dans un fluide : seule la nature du fluide diffère.

Si j'ai tenu à vous montrer, un peu longuement peut-être, que la réalisation du sous-marin actuel était entièrement œuvre française, c'est parce que cette œuvre admirable de notre Génie

(1) Voir l'article de M. Bellet, « Sous-marins allemands », dans la *Revue Scientifique* du 5 décembre 1914.

maritime est généralement trop peu connue. Sur l'histoire, si glorieuse pour la France, de l'aérostation, je puis, sans inconvénient, être beaucoup plus bref.

L'enthousiasme soulevé par la mémorable ascension du premier ballon à Annonay, devant les États du Vivarais, le 5 juin 1783, a rendu universellement célèbre le nom glorieux des Montgolfier.

S'il est moins populaire, ce n'est pas dans cette maison, à laquelle le rattache plus d'un lien, qu'il est besoin de rappeler le nom de l'illustre physicien Charles, de celui qui construisit le premier ballon gonflé à l'hydrogène, et qui créa, en quelque sorte tout d'une pièce, l'art de l'aérostation, en munissant d'un appendice inférieur ouvert, d'une soupape supérieure, de lest, d'un filet et d'un baromètre, le ballon, seulement en partie rempli d'hydrogène, avec lequel il effectua sa belle ascension aux Tuileries, le 1er décembre 1783.

A peine le ballon est-il né, et déjà l'armée en comprend l'utilité pour la guerre; le général Meusnier conçoit aussitôt (1784-1789) les dispositions essentielles du dirigeable actuel : forme allongée, ballonnet à air, roues tournantes. Ce qui manque alors c'est le moteur à la fois léger et puissant. Un siècle devait s'écouler avant que, guidé par les expériences de Giffard, de

Dupuy de Lôme, de Tissandier, le colonel Renard réussisse à effectuer avec le dirigeable *La France,* actionné par des piles chlorochromiques, le premier voyage aérien « bouclant la boucle » le 22, puis le 23 septembre 1885 : la vitesse propre du ballon était de 6 mètres à la seconde (22 kilomètres à l'heure).

Les dirigeables militaires sont de deux sortes :



FIG. 5. — Le *Fleurus.*

souples ou rigides. En France, sauf le *Spiess* qui n'a guère été qu'un appareil d'essai, on

n'emploie que des dirigeables souples. Tels le *Commandant-Coutelle,* ainsi nommé du héros qui montait le ballon captif à la bataille de Fleurus le 26 juin 1794; l'*Adjudant-Vincenot,* du même modèle, et portant aussi un nom glorieux; le *Fleurus,* de moindres dimensions, qui a donné de très bons résultats; et d'autres plus récents.

Au contraire de la France, l'Allemagne affectionne les ballons rigides et énormes. Elle a bien quelque ballons souples : *Siemens-Schuckert, Parseval.* Mais elle est surtout fière de ses *Zeppelins,* à carcasse métallique logeant dans des compartiments distincts toute une série de petits ballons : 16 ballons de 1.250 mètres cubes chacun, dans le type de 20.000 mètres cubes. Par suite de cette disposition, un ou plusieurs de ces petits ballons peuvent être démolis par des obus, sans que le Zeppelin se trouve nécessairement mis hors de combat. A la partie supérieure de la carène est une petite plate-forme sur laquelle se tient en permanence une vigie communiquant par téléphone avec l'équipage des deux nacelles. L'avant et l'arrière sont armés de mitrailleuses. A 100 mètres en dessous est suspendue une nacelle dans laquelle on met un seul homme avec, dit-on, 30 ou 40 bombes, chiffre sans doute un peu exagéré, vu le peu de force ascensionnelle disponible.



Fig. 6. — *Zeppelin* (marine).

Il n'y avait guère qu'une dizaine de Zeppelins en état de faire campagne au début de la guerre. Aujourd'hui, il y en a certainement plus du double, les ateliers de Friedrichshafen, sur les bords du lac de Constance (où la première ascension d'un Zeppelin eut lieu le 2 juillet 1900), ne cessant d'en construire avec une hâte fébrile. Les derniers construits sont du type « marine », beaucoup plus puissants. Malgré cela, ils présentent toujours le défaut d'un poids mort considérable. Ce sont des colosses fragiles, difficilement maniables, qui ne produiront sans doute pas les effets prodigieux que proclament les Allemands. Et, quoique nos derniers dirigeables vaillent certainement ces lourdes machines, nous ne serions pas très surpris que la guerre actuelle ne marquât, somme toute, qu'un médiocre succès des aéronefs, trop esclaves des conditions atmosphériques.

NOMS	DATES	CONSTRUCTEURS	LONGUEUR	DIAMÈTRE maximum	VOLUME	PUISSANCE du moteur	VITESSE
Dirigeables français.			mètres	mètres	m³	chevaux	km./h.
Adjudant-Vincenot	1910	Société Zodiac	90,00	13,50	9.600	260	56
Commandant-Coutelle	1911	Clément-Bayard	88,50	14.00	8.000	360	
Fleurus	1912	Chalais-Meudon	77,00	12,50	6.500	160	58
Dirigeables allemands.							
Siemens-Schuckert	1909	»	118,00	13,20	13.500	500	
Parseval (pour le Japon). . .	1912	»	85,00	14,30	7.000	300	58
Zeppelin.	1912	»	148,00	15,00	20.000	510	72
Zeppelin (marine).	1914	»	158,00	16,60	25,000	720	80

*
* *

L'avenir des airs est certainement à l'aéroplane.

De tout temps l'homme a rêvé de voler. Vous pouvez voir aux galeries du Conservatoire l'*avion* d'Ader, appareil extrêmement ingénieux avec lequel la force sustentatrice de l'air fut nettement mise en évidence dans un lancement dont l'allure n'était cependant que le tiers de ce qu'elle eût été si toute la puissance du moteur eût été utilisée. Vous savez en effet que, toutes choses égales d'ailleurs, la poussée sustentatrice de l'air croît comme le carré de la vitesse de l'aéroplane. C'est l'Anglais Georges Cayley qui, en 1809, énonça dans le Journal de Nicholson le principe de la sustentation par la vitesse. Mais l'importance de ce principe ne fut pas comprise jusqu'au jour où elle fut proclamée par un jeune mécanicien français, Alphonse Pénaud, le constructeur du premier aéroplane-joujou ayant fonctionné régulièrement à l'aide d'un moteur emporté par l'appareil même (18 août 1871). Cet aéroplane minuscule était en réalité un monoplan ayant pour moteur un ressort de caoutchouc, qui donnait l'énergie nécessaire pendant tout le temps qu'il mettait à se débander. Pénaud ne passa point aussi méconnu que

Cayley ; l'Académie des Sciences couronna un de ses mémoires. Mais il fut enlevé par une mort prématurée, en 1880, sans avoir pu construire un véritable aéroplane, comme celui que vous voyez dans nos galeries, le *Blériot XI*, monoplan, dont vous constatez aisément le fuselage



Fig. 7. — *Blériot XI.*

(gros bout en avant) enfermant la plus grande partie des pièces, l'empennage fixe, les deux gouvernails de profondeur, le gouvernail de direction. C'est avec cet appareil que l'intrépide aéronaute traversa pour la première fois la Manche par la voie des airs, le 25 juillet 1909.

Cette même année 1909, dans sa séance extraordinaire du 16 juin, l'Institut de France, voulant couronner l'aviation française pour ses

brillants succès remportés en 1908, attribuait le prix Osiris de 100.000 francs aux deux constructeurs français « ayant réalisé des appareils capables de quitter les champs de manœuvres et d'effectuer de véritables voyages aériens en pleine campagne », Louis Blériot et Gabriel Voisin.

Ce triomphe de l'aviation française avait été précédé et provoqué par les expériences semi-secrètes des frères Wright, qui avaient les premiers réussi des vols prolongés. Entreprises en Amérique dès 1903, elles ne furent rendues publiques qu'en 1908, en France.

L'appareil dont Wilbur Wright se servit au camp d'Auvours était un biplan d'aspect très simple, parce que très minutieusement étudié. Il présentait deux surfaces parallèles de $12^{m}50$ sur 2 mètres, distantes de $1^{m}80$, pas d'empennage à l'avant, un double gouvernail de profondeur, à l'arrière un double gouvernail de direction, et, chose caractéristique, un système de gauchissement des surfaces, en abaissant un bord tandis qu'il relève l'autre, ou inversement. Un moteur de 25 chevaux commandait deux hélices tournant en sens contraire afin d'annuler les couples de réaction.

Les aéroplanes français, que nous étudierons surtout au point de vue militaire, peuvent se ramener à quatre types :

1° Le *monoplan Blériot*, dans lequel le constructeur adopta tout de suite le gauchissement des ailes de Wright, précieux dans les virages et employé aujourd'hui dans tous les monoplans.

A ce type appartient l'avion blindé *Morane-Saulnier*. Le modèle dit « parasol » a les ailes relevées et le capot dégagé de façon à permettre la visée verticale, ce qui est très important pour bien voir. La longueur a été réduite de manière à loger l'avion sur les voitures de l'artillerie. C'est un excellent appareil qui s'enlève, après un parcours de deux fois sa longueur, comme un véritable oiseau. Il est d'ailleurs construit en acier, comme tous les aéroplanes que l'on veut mettre à l'abri des inconvénients du bois résistant mal aux intempéries.

2° Le *biplan Voisin*, dont les auteurs, encouragés par M. Archdeacon, construisirent d'abord un modèle sans gauchissement, sans ailerons, mais à plans transversaux, qui ont à peu près disparu dans les appareils récents. Le tableau ci-après donne les caractéristiques de trois modèles successifs de ces aéroplanes vigoureux, éminemment propres à la lutte.

3° Le *biplan Farman*, possédant les mêmes précieuses qualités d'endurance et de stabilité. Il résume les idées de Wright, de Ferber et d'Archdeacon, et il présente dans ses différents modèles des particularités intéressantes au point

Fig. 8. — A bord d'un *Voisin.*

Fig. 9. — *M. Farman.*

de vue du capot, des gouvernails, du décalage des plans sustentateurs, de la construction en hydroaéroplane.

Bien qu'ils ne se rattachent particulièrement



Fig. 10. — *Caudron.*

à aucun autre type, nous devons citer ici les *Bréguet*, dont les différents modèles ont contribué à l'avance rapide de notre aviation militaire. Les biplans Bréguet du concours militaire d'oc-

tobre-novembre 1911 avaient les moteurs les plus puissants (Canton-Unné de 120 chevaux et Gnome de 140 chevaux pour une surface portante de 32 mètres carrés et des poids respectifs de 703 kilogrammes et 638 kilogrammes).

4° Le *biplan Caudron,* avion léger, convenant, comme les monoplans, aux besognes rapides, particulièrement aux reconnaissances.

TABLEAU

Tableau des principaux types d'aérostats français (1).

	LONGUEUR	ENVERGURE	SURFACE portante	POIDS	MOTEUR	
	mètres	mètres	m²	kilogr.		chev.
Blériot XI (monoplace)	7,65	8,90	15	240	Gnome	50
Blériot (biplace)	8,30	9,70	20	300	—	70
Morane-Saulnier	7,30	11,20	18	405	—	80
Voisin	11,00	16,40	50	660	Renault	70
Voisin (canard)	9,00	15,00	48	620	Gnome	100
Voisin (aéro-marin)	12,50	22,00	65	900	Clerget	200
Maurice Farman	12,00	15,50	60	450	Renault	70
Bréguet	8,55	13,60	36	525	Gnome	80
Bréguet (militaire)	9,06	13,60-8,89	32	638	—	140
Caudron (marin)	10,00	14,50	40	420	—	80

(1) Voir *L'Aviation*, par Painlevé, Borel et Maurain (Paris, Alcan, 1913), que nous avons largement mise à contribution. M. Marchis a bien voulu aussi nous fournir de précieux renseignements.

Les aéroplanes légers pèsent de 450 à 500 kilogrammes, poids brut, non compris les poids des aéronautes, de l'essence et de l'huile pour quatre ou cinq heures ; les aéroplanes lourds pèsent de 700 à 800 kilogrammes, poids brut auquel il faut ajouter les poids des aéronautes, de l'essence et de l'huile pour six à sept heures — ces nombres tendant d'ailleurs chaque jour à monter par nécessité d'armement et de blindage.

Sans nier l'importance des records et concours qui ont beaucoup contribué au perfectionnement des appareils et des aviateurs, il faut tenir compte des conditions dans lesquelles les vols sont effectués et qui, en fait, ne les rendent pas exactement comparables entre eux et bien moins encore aux vols réels.

On peut cependant considérer comme courantes des vitesses de 100 à 140 kilomètres à l'heure. En 1912, Védrines avec monoplan Deperdussin a atteint sur piste, à Bétheny, 170^{km},770. Le chiffre de 200 kilomètres ne paraît pas irréalisable à date peu éloignée, dans un appareil construit spécialement pour la vitesse (fuselage rigoureux, puissance relativement forte du moteur, faible inclinaison de la voilure, charge limitée).

En 1913, le record de la hauteur, 6.000 mètres, a été atteint par Perreyon à Buc sur monoplan Blériot.

En 1912, Fourny, à Étampes, sur biplan Maurice Farman, battait, en même temps, le record de durée 13 heures 18 minutes et le record de distance 1.010^{km},500. Mais, pour la durée et la distance, l'élément le plus important est certainement la résistance physiologique de l'aviateur : 6 heures d'une attention continue et de manœuvres incessantes représentent un maximum, au delà duquel le vol ne saurait être prolongé sans aléa redoutable.

A la guerre, l'aéroplane est employé à des reconnaissances d'objectifs, à des réglages de tir d'artillerie, à des chasses d'avions et de dirigeables ennemis, à des lancements de projectiles.

L'aviateur sera, suivant les cas, chargé de reconnaître le nombre et l'emplacement des troupes ennemies, la position d'une batterie ou d'un sous-marin. On l'a justement appelé l'œil de l'artillerie. Il est aussi éminemment propre à découvrir un sous-marin, qu'il verra très bien d'en haut, alors que les navires menacés ne pourront pas distinguer le sous-marin en vision presque horizontale. Toutefois, dans l'impossibilité de réduire sa vitesse, l'aéroplane ne peut faire la reconnaissance exacte d'un objectif sans décrire au-dessus de cet objectif de grands orbes fort gênants.

L'aéroplane est un ennemi dangereux pour un autre aéroplane et non moins pour un dirigeable,

vis-à-vis duquel il a l'avantage de l'agilité et de la facilité de manœuvre en tous sens. Pour les combats aériens, il doit être blindé et muni d'une mitrailleuse. Mais ses armes habituelles sont les bombes. Vous connaissez le raid des aviateurs anglais le 21 novembre au-dessus de Friedrichshafen, le repère des zeppelins ; et notre bombardement (4 décembre) de la gare de Fribourg-en-Brisgau. Nos aérostiers utilisent aussi des fléchettes en acier qui, tombant d'une grande hauteur, sont des armes redoutables. Un aérostat peut aisément emporter trois ou quatre boîtes de 1.000 fléchettes chacune : ces boîtes laissent échapper automatiquement et successivement les fléchettes, qui indiquent à l'aviateur leur lieu d'arrivée par un petit nuage blanc dû à du chlorure de titane. Lancées sur la cavalerie, elles y produisent un désarroi complet des chevaux, désarroi dont nos ennemis firent la désagréable épreuve dans leur récente marche d'Ypres sur Hazebrouck.

Les Allemands ont d'ailleurs procédé pour les aérostats comme pour le reste. Très au courant de tout ce qui se faisait chez nous, qui nous glorifions volontiers de nos succès, ils en ont profité au moment voulu et ils ont organisé tout un système d'appareils très bien adaptés à la guerre, et constitué un corps d'aviateurs au niveau de leurs autres troupes.

Vous avez tous vu quelque *taube*. Ces fameux pigeons ne sont que des Blériot modifiés peu avantageusement par l'Autrichien Ettrich. On se sert de ceux que l'on a, mais on n'en construit plus; ils ne peuvent pas emporter assez



Fig. 11. — *Ettrich* « Taube ».

de poids. Ils sont tombés en défaveur, n'ayant pas réussi, dit-on, à enlever dans les airs le valeureux Joachim : on aurait dû employer un des appareils nouveaux plus puissants, tels que les biplans *Aviatik* (du type Henri Farman), *Albatros*, *L. V. G.*, peut-être *D. F. W.*

Tableau de quelques aérostats allemands.

NOMS	DATES	LONGUEUR	ENVERGURE	SURFACE	POIDS	MOTEUR	PUISSANCE du moteur	VITESSE
Monoplans.		mètres	mètres	m^2	kg		chevaux	$\frac{km.}{h.}$
Etrich « Taube ». .	1913	9,25	14,3	38	650	Argus ou Mercédès	100	105
Gotha « Taube » (type course) . . .		8,5	14,0	28		Mercédès	100	120
Biplans.								
Albatros	1913	10,0	14,3			Argus ou Mercédès	100	110
—	1914	8,0	12,8		680	Mercédès	100	115
Aviatik	1913-14	8,0	14,0	48	690	Argus ou Mercédès	100	100
L. V. G.	1913	9,0	14,0	44		Argus ou Mercédès	100	90-100
D. F. W.	1913	9,0	17 - 12	46		Argus ou Mercédès	100	105

L'usine Aviatik a été en grande partie transportée d'Alsace à Fribourg-en-Brisgau. L'usine L. V. G. est à Johannisthal près de Berlin : elle produit 5 appareils par semaine. Otto fabrique aussi des L. V. G : nous ignorons combien. Albatros est à Berlin, où il ne fait plus de taubes; il livre 5 biplans par semaine. La production allemande paraît être de 25 à 30 biplans par semaine, tous appareils blindés, vigoureux et bien pourvus.

Nos amis les Anglais et nous-mêmes ne nous endormons pas. Soyez-en assurés.

*
* *

Les appareils optiques que l'on utilise à la guerre : périscopes, jumelles, télémètres, projecteurs, demanderaient une étude qui ne peut trouver place ici.

Je ne puis également que mentionner les emprunts intéressants faits à l'acoustique au bénéfice de notre artillerie.

*
* *

Les applications militaires de l'électricité sont nombreuses et importantes.

Dans un navire de guerre et surtout dans un sous-marin l'appareillage électrique s'impose

pour assurer l'exécution instantanée des ordres centralisés au commandement.

Le télégraphe et le téléphone jouent un rôle de premier ordre dans tous les services militaires, comme vous le concevez aisément. Ajouterai-je que l'armée fait un large usage de la télégraphie sans fil depuis les débuts de la campagne ? C'est tout ce qu'il m'est permis de vous en dire.

Vous n'êtes point sans avoir entendu parler des broussailles électriques. Déjà employées par les Japonais, puis récemment par les Belges à Anvers, elles reparaîtront sans doute encore dans la lutte actuelle. Alimentés par des courants alternatifs à haute tension (1.500 à 2.000 volts), des réseaux barbelés ordinaires constituent certainement une défense effrayante, dont l'installation, variable suivant les lieux, ne peut être faite que par des techniciens. Mais dès aujourd'hui, nos soldats sont prévenus des précautions à prendre contre ces réseaux : elles sont les mêmes que contre les conducteurs des courants industriels à haute tension, auxquels il ne faut toucher, en aucun cas, qu'avec des gants d'électricien ou tout au moins avec des isolants de fortune (papier sec, étoffes sèches etc.). Quelques couches de ruban chattertoné suffiront d'ailleurs à isoler les manches des pinces employées pour couper les réseaux.

*
* *

Après avoir considéré les différents moyens de s'entretuer que l'art de la guerre a su tirer de la physique, vous éprouverez quelque soulagement à voir l'aide que notre science peut apporter dans les soins à donner aux blessés.

Et, puisque nous venons de parler de l'électricité, signalons un ingénieux emploi de la balance électromagnétique de Hughes, récemment proposé par M. Lippmann pour remplacer au besoin une installation radiographique. Vous savez que la balance de Hughes se compose essentiellement de deux petites bobines d'induction dont les secondaires sont réunis à un téléphone. Dans les primaires circule, en sens inverse, un courant périodiquement interrompu. Les deux systèmes étant identiques, la balance est normalement en équilibre : le téléphone est muet. Mais, si l'on approche de l'une des bobines un morceau de métal, l'équilibre est rompu : le téléphone parle d'autant plus énergiquement que les courants engendrés par induction dans le métal réagiront davantage sur la bobine voisine. Vous comprenez comment le maniement de cette balance, qu'il est facile de construire partout, permettra de loca-

liser un projectile dans le corps d'un blessé. Si le projectile est magnétique, tel un éclat d'obus, il agit plus énergiquement sur la balance. Une balle allemande, dont l'enveloppe est magnétique, aura un effet plus marqué qu'une balle française.

La radiographie est éminemment bienfaisante aux blessés. Depuis le commencement de la guerre, elle a sauvé des vies (particulièrement dans les cas de fractures du crâne), elle a grandement multiplié les guérisons, les a hâtées, et combien de souffrances elle a épargnées aux malheureuses victimes, en dirigeant sûrement le scalpel du chirurgien! J'ai ici deux séries de radiographies, que je vais successivement vous montrer. Celles-ci m'ont été données par M. Perot, professeur à l'École Polytechnique, qui applique sa science à soulager les blessés de l'hôpital auxiliaire 23 de la Société française de secours aux blessés, installé dans l'hospice Galliera à Fleury-Meudon. Celles-là sont dues à M. Gallaud, professeur au lycée de Versailles, et ont été relevées à l'hôpital auxiliaire 116, au Raincy.

Remarquez que la radiographie donne sur la plaque photographique une projection conique, qui ne permet pas de situer exactement les objets dans l'espace. Il importe donc de faire

deux épreuves; car au moyen de deux projections coniques prises de deux points de vue différents connus, on peut mettre exactement les choses en place par une épure, qui sera très simple si l'on a choisi convenablement les deux points. Ces deux points peuvent d'ailleurs satisfaire à la condition voulue pour donner deux vues propres à être examinées dans un stéréoscope [1]. D'autre part, sur une seule épreuve, la différence de teinte de deux objets provenant de la différence d'épaisseur des tissus traversés permettra souvent à un œil exercé d'affirmer que l'un de ces objets est en avant de l'autre; que, par exemple, cette balle est en avant de la colonne vertébrale, tandis que cette autre est au même plan; que, parmi ces éclats d'obus dans le thorax, en voici un plus profondément situé.

Les mêmes remarques s'appliquent à l'examen radioscopique, qui permet de voir immédiatement si la blessure renferme un corps étranger, d'en fixer approximativement la place, que l'on pourra d'ailleurs préciser en déplaçant le blessé par rapport au faisceau radiant. Il y a même des cas où ce mode d'examen est particulièrement avantageux. Mais la commodité qu'il présente

(1) Voir E. Colardeau, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 30 novembre 1914.

ne doit pas en faire oublier le danger pour l'opérateur. On se sert en radioscopie de rayons très durs, par conséquent très pénétrants ; on regarde l'écran de près, et, comme chaque examen prend peu de temps, on en fait aisément un grand



Fig. 12. — *Eclats d'obus dans le thorax.*

nombre en quelques heures pendant lesquelles on reste exposé au rayonnement mis en jeu. Je sais bien que les rayons les plus pénétrants ne sont pas les plus dangereux ; mais ils sont accompagnés de ceux-ci. Sans doute aujourd'hui l'écran radioscopique est recouvert d'un verre

dense; je pense néanmoins qu'il vaudrait mieux ne pas le regarder directement, mais plutôt par réflexion dans une glace épaisse. J'estime aussi qu'il serait sage de placer l'ampoule dans une autre pièce et de ne laisser pénétrer les rayons utiles que par une ouverture étroite [1] dans la salle d'opérations, où l'on s'entourerait d'ailleurs d'écrans en plomb convenablement disposés.

*
* *

Il est une chose que toutes les radiographies ne sauraient nous faire voir, c'est la science et l'abnégation de nos chirurgiens, le dévouement admirable des femmes qui soignent et consolent les blessés.

De même, quand nous passions en revue quelques-uns des engins avec lesquels on se massacre savamment, si nous indiquions comment ils procèdent de nos connaissances en physique, nous laissions de côté le facteur le plus important du succès dans la lutte, l'homme qui primera toujours la machine, comme l'esprit primera toujours la matière.

Ce n'est pas seulement avec des canons, mais

(1) Depuis cette conférence, Mme Curie m'a dit qu'elle employait avantageusement un faisceau limité par un diaphragme appliqué contre l'ampoule.

aussi et surtout avec des poitrines que l'on gagne les batailles. Nous savons de longue date combien une poitrine française contient de courage et d'entrain, d'héroïsme et de bonté. Croyez-en ceux qui ont le précieux privilège de vivre au contact des jeunes gens. Et combien cela est vrai dans cet admirable Conservatoire, où nous touchons des ardeurs incroyables, où, pour peu que nous les aidions, se nouent des affections indestructibles, nées de l'estime et de la sympathie réciproques et scellées de la confiance joyeuse de la jeunesse française!

Saluons avec une profonde reconnaissance ces nobles sentiments : ils entraînent nos fils à unir fraternellement leurs efforts indomptables, que rien ne pourra arrêter avant le jour où, de concert avec nos alliés, ils auront obtenu la victoire complète.

DE L'AVENIR

DE NOS INDUSTRIES PHYSIQUES

APRÈS LA GUERRE

DE L'AVENIR DE NOS INDUSTRIES PHYSIQUES APRÈS LA GUERRE[1]

Dans une étude rapide de l'essor que devront prendre nécessairement nos industries physiques après la victoire, pour peu que nous le voulions, je dois évidemment considérer en première ligne les Poids et Mesures.

L'un des plus grands bienfaits que la France ait rendu au commerce et à l'industrie de « tous les temps » et de « tous les peuples », pour parler le langage énergique de l'époque, est certainement le système métrique décimal dont, en l'an VII, une délégation de l'Institut présentait au Corps législatif les étalons, qui furent déposés aux Archives de la République.

A la suite des décisions de la Commission internationale, chargée en 1869 de préparer les nouveaux prototypes du mètre et du kilogramme, la Conférence française du Mètre se mit à la be-

---

(1) Conférence faite au Conservatoire des Arts et Métiers, à Paris, le 11 février 1915.

sogne, et vous pouvez voir dans nos galeries le four dans lequel, en 1874, fut fondu le premier lingot du métal destiné à fabriquer les fameuses règles en X des mètres-étalons, et les cylindres des kilogrammes-étalons. Tout le travail de cette première fabrication fut effectué au Conservatoire des Arts et Métiers.

D'autre part, les étalons étaient confrontés à ceux de l'an VII et comparés entre eux, au pavillon de Breteuil, par les soins du Bureau international des Poids et Mesures, constitué à cet effet. Des appareils de haute précision durent être

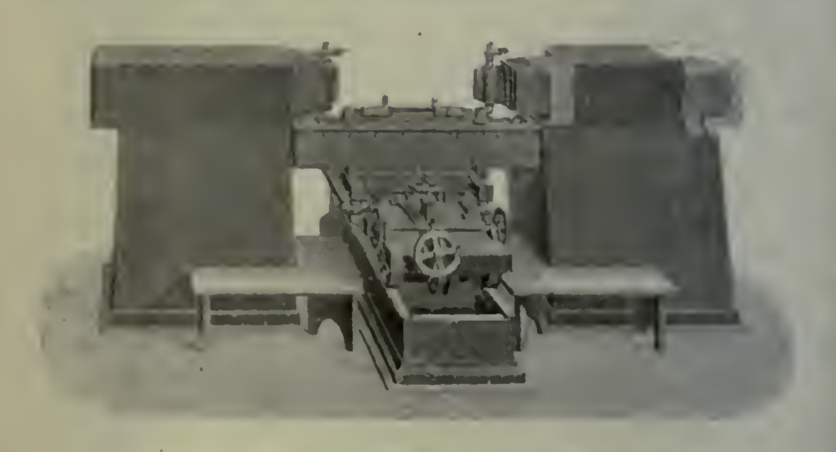


Fig. 13. — Comparateur Brünner pour règles de 1 mètre.

construits pour les comparaisons tant des longueurs que des masses, et pour les études nouvelles que, dans un champ sans cesse élargi, suscitèrent les questions les plus délicates de la métrologie. Telle l'évaluation du mètre en

longueurs d'onde, effectuée en 1892-1893 par Michelson et Benoît et reprise en 1907, avec l'aide de Benoît, par Fabry et Perot au moyen

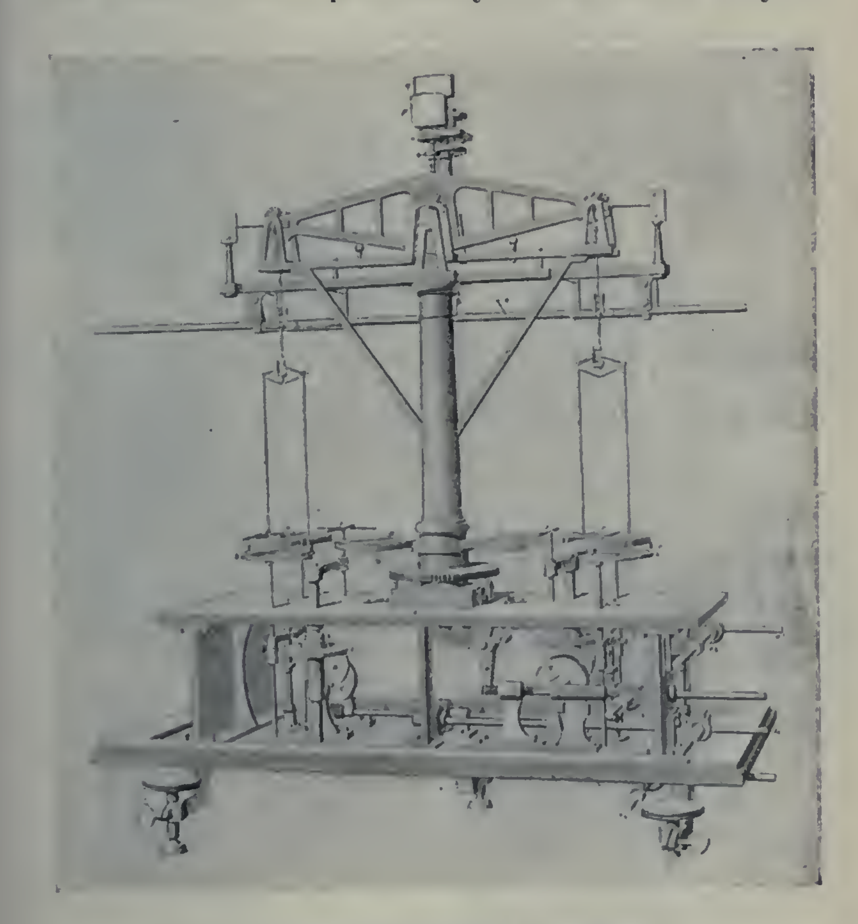


Fig. 14. — Balance Ruprecht, à transposition.

de leur belle méthode des interférences par lames argentées. Telle la mesure, suivant la même méthode, du volume du kilogramme d'eau, par Macé de Lépinay, Buisson et Benoît (1910).

Tel l'établissement par Benoît et Guillaume, en 1911, de la mesure rapide des bases géodésiques, d'après Jäderin, au moyen de fils en ce précieux

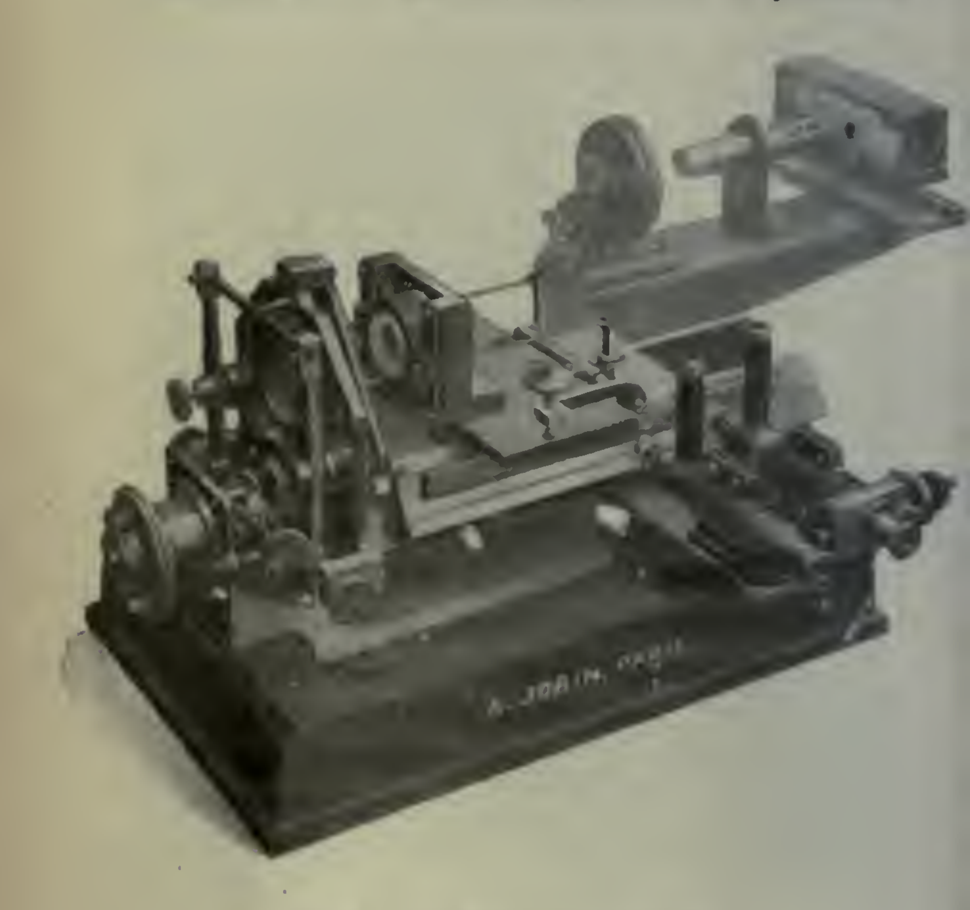


Fig. 15. — Interféromètre Pérot et Fabry.
(Dernier modèle, construit pour la Chambre impériale des Poids et Mesures de Petrograd.)

métal, dû à Guillaume, l'invar, dont la dilatation par 1 degré centésimal et 1 mètre n'est guère que de $0^{\mu},1$, près de cent fois moindre que celle de

l'acier. Telle la mesure optique des étalons Johansson par Pérard et Maudet (1912). Telles les mesures de températures, de dilatations, etc.

Ces études, auxquelles le Conservatoire s'est toujours trouvé plus ou moins directement mêlé, ont certainement beaucoup contribué à entretenir en France cette recherche de la perfection, que nos constructeurs d'instruments de précision ont toujours noblement poursuivie.

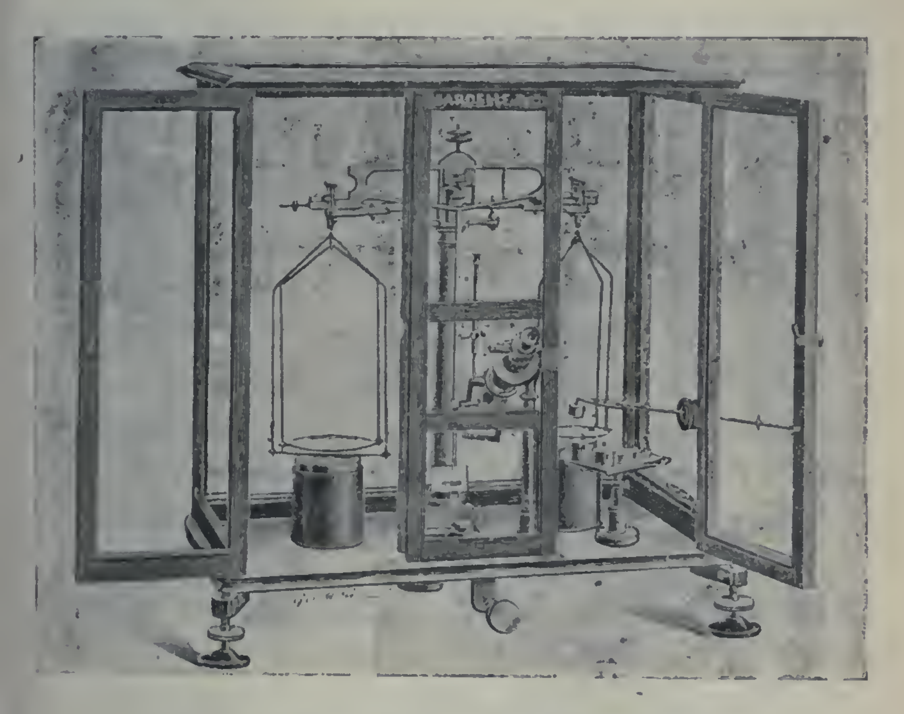


Fig. 16. — Balance pesant 1.000 grammes, sensible à $^1/_{10}$ de milligramme, avec amortisseur Curie.

Au point de vue de l'industrie des Poids et Mesures, si nous sommes restés excellents dans

la fabrication des balances de précision, nous avons été largement distancés par l'étranger et particulièrement par l'Allemagne dans la fabrication des appareils automatiques de pesage, si répandus aujourd'hui, et aussi dans la fabrication des mètres brisés en bois, que les Allemands font mieux et à meilleur compte que nous. Il ne serait sans doute pas très difficile de découvrir le procédé par lequel ils savent donner au bois en même temps une flexibilité et une rigidité suffisantes. D'autre part, les différents tronçons de leurs mètres sont articulés de telle sorte que, lorsqu'ils sont amenés dans le prolongement l'un de l'autre, le mètre se comporte comme s'il était d'une seule pièce. Enfin, il est très exactement divisé en millimètres sur toute sa longueur. Pourquoi ne faisons-nous pas ainsi ?

Sans parler de causes générales, que nous aurons à examiner avec quelque détail, notre infériorité actuelle, honteuse pour le pays qui a donné au monde le système métrique, tient à ce que nous n'avons pas en France de Laboratoire national des Poids et Mesures, dans lequel soient étudiées les questions qui intéressent cette industrie, cependant d'une importance capitale pour le commerce et l'industrie, tandis que en Allemagne la *Physikalische Reichsanstalt,* en Angleterre le *Physical Laboratory,* en Amérique le *Bureau of Standards,* en Russie la *Chambre*

impériale des Poids et Mesures, s'en occupent activement.

J'en suis personnellement humilié, toutes les instances que, depuis de longues années, je fais pour obtenir que nous sortions de cet état lamentable étant restées vaines. Je veux cependant espérer qu'au réveil de notre industrie on comprendra la nécessité d'un *Laboratoire national des Poids et Mesures.*

*
* *

Je passe maintenant à une industrie essentiellement scientifique, l'Optique, sur laquelle vous m'excuserez d'insister un peu.

Foucault, en 1858, ouvrit la voie suivant laquelle les instruments d'optique devaient marcher vers des perfections nouvelles. Chargé de diriger, pour l'Observatoire de Paris, l'exécution d'une lunette devant dépasser en puissance tous les instruments connus, il comprit immédiatement que son premier devoir était d'étudier dans les ateliers (chez Secretan) les procédés employés alors par les opticiens dans le travail des lentilles et des miroirs. Commençant par ceux-ci, il fut frappé de ce fait que des miroirs fabriqués par des mains également habiles, voire par la même main, présentaient au point de vue optique une valeur très différente. Il imagina

alors des moyens entièrement nouveaux d'explorer les surfaces optiques, moyens qui lui permettaient de reconnaître les imperfections, de l'ordre de quelques dixièmes de micron, qui se produisaient au dernier polissage, à l'insu de l'ouvrier le plus habile. Armé alors d'un polissoir, il nivelait en quelque sorte les saillies que son procédé d'examen mettait en évidence, semblable au sculpteur qui en quelques heures donne la vie au marbre que lui a livré le praticien.

On a peu ajouté aux procédés d'examen et de *retouches locales* imaginés par Foucault. Ils seront toujours nécessaires dans la construction des grands objectifs, non seulement en raison des difficultés insurmontables (parmi lesquelles je citerai seulement les longs et fréquents repos nécessaires), que l'on rencontre lorsqu'on veut pousser le travail mécanique jusqu'au seuil de la perfection, mais aussi parce que, malgré tous les soins pris à leur affinage et à leur recuit [1], les grandes dalles de verre présentent toujours de petits écarts d'indice que l'on est obligé de regagner par des inégalités de surface.

Dans la fabrication industrielle de pièces de

---

(1) Le recuit d'une grande dalle de verre exige beaucoup de précautions et beaucoup de temps (une année). Sinon, on s'expose à des ruptures imprévues. L'acier présente la même instabilité. Il y a quelque vingt ans, un soldat, passant devant une masse d'obus engerbés, fut tué net d'une ogive brusquement lancée par la rupture de la ceinture la rattachant au culot.

verre de petites dimensions, on ne fait pas de retouches locales, les écarts d'indice étant alors tout à fait négligeables, avec des verres de bonne qualité. Mais on vérifie constamment la forme des surfaces à l'aide de *calibres interférentiels.*

Ce fut encore un Français, Fizeau, dont le nom est intimement lié en physique à celui de Foucault, qui, en 1863, imagina d'employer les franges d'interférence à mesurer des variations de niveau. Cornu (1869) s'en est servi pour étudier, par de véritables courbes de niveau, la déformation élastique d'une lame de verre ou d'acier posée horizontalement sur deux appuis et fléchie par l'addition de poids à ses extrémités : il reconnut que ces deux corps, si ressemblants quant à la trempe, sont tous les deux isotropes. Notre savant collègue, M. le professeur Mesnager, a tiré de cette analogie intime un moyen extrêmement ingénieux de faire apparaître sur un modèle en verre la distribution des tensions dans un pont en acier. Laurent (1893) appliqua le premier à la vérification des surfaces optiques la méthode interférentielle, qui est maintenant employée couramment par tous les constructeurs. Ici, comme en beaucoup d'autres domaines, les Allemands n'ont rien innové : Carl Zeiss a simplement compris l'importance de la méthode, et en a généralisé l'emploi industriel dans ses usines d'Iéna.

La technique des objectifs a été rénovée, en 1873, par Abbe, qui établit des méthodes de calcul permettant de pousser beaucoup plus à fond le calcul et l'élimination des aberrations. On put dès lors résoudre le problème des objectifs de très grande ouverture.

La construction de ces objectifs exigeait des verres spéciaux. Pour ne pas s'adresser en France, la verrerie Schott et Jen fut fondée à Iéna en 1884 « avec l'assistance du Gouvernement prussien ». Bientôt des dons gracieux permirent d'élargir les études, d'entreprendre des essais poursuivis avec une féconde ténacité et avec un désintéressement apparent. La sollicitude de l'État prussien conféra à cette industrie une sorte d'estampille officielle et un lustre scientifique, dont elle sut se parer aux yeux du monde entier et dont elle tire profit. Les auteurs des traités d'optique français se sont laissé impressionner comme les autres : ils ont accepté les définitions audacieuses des auteurs allemands. Tous les verres nouveaux sont appelés verres d'Iéna, alors que la plupart d'entre eux avaient été fabriqués à Paris par Feil et Mantois avant de l'être à Iéna, alors que Chance à Birmingham fabrique actuellement des verres (améliorés des anciens) incomparablement plus intéressants que ceux de Schott, en particulier pour la construction des objectifs apochromatiques. De même

Schott a réussi à faire généralement accepter que la trempe de ses verres était par définition la trempe minima, alors qu'à ce point de vue encore d'autres maisons lui sont très supérieures.

Nous avons été pendant longtemps au premier rang pour la fabrication des verres d'optique. Il y a quelques années encore, nous étions les seuls à pouvoir livrer les dalles de très grande dimension (1 mètre et plus), avec lesquelles ont été faits tous les grands objectifs d'Europe et d'Amérique. Vous vous rappelez tous la fameuse lunette dite « de la lune à 1 mètre » au Palais de l'Optique à l'Exposition de 1900; cette lunette, construite par Gautier avec des verres de Mantois (conseillé par notre regretté collègue, le professeur Verneuil), présentait un objectif de 1^{m} 25 de diamètre avec 57 mètres de foyer. Nous serions impardonnables de ne pas reprendre, dès maintenant, la place que nous avons si glorieusement occupée dans la fabrication des verres d'optique. Cela nous est d'autant plus aisé que c'est une fabrication qui ne s'improvise pas.

Avant la guerre, Iéna ne possédait pas seulement la verrerie Schott. Malgré l'importance que cette verrerie avait su prendre, elle n'était qu'une annexe de la maison Zeiss, d'où sont sortis depuis trente ans tant de beaux appareils d'optique, et vis-à-vis de laquelle nous nous

trouvons commercialement dans une situation modeste.

La question est grave, car c'est au fond celle de toute notre industrie des instruments de précision. La France a toujours tenu et elle continue à tenir le premier rang dans la construction des instruments de haute précision. Où trouverait-on une légion de constructeurs tels que Gambey, Brünner, Fortin, Bréguet, Deleuil, Froment, Collot, Pixii, Ruhmkorff, Soleil, Duboscq, Laurent..., pour ne citer que les plus grands parmi ceux qui ne sont plus? Si je tais les noms de leurs successeurs actuels, artistes non moins consciencieux et non moins habiles, j'aime à penser que parmi eux prend déjà rang un jeune constructeur qui a puisé ici, sur ces bancs, un ardent amour de la science, et qui, aujourd'hui, consacre toute sa féconde activité à la défense nationale.

Par quelles causes, si élevée que soit la perfection de nos instruments, la production en reste-t-elle aussi faible, tandis qu'en Allemagne l'exportation des appareils de précision aurait été, en 1913, de 112 millions de marks (environ la moitié de la production), l'importation étant seulement de 15 millions de marks ?

En dehors des causes générales, qui tiennent au caractère même de la nation française et sur lesquelles j'aurai, dans un instant, l'occasion de

revenir, il faut citer ici la modicité des ressources de la plupart de nos laboratoires. Je dis modicité ; je n'oserais pas vous chiffrer le budget de nos laboratoires dans cette grande maison, que l'on a appelée et qui devrait être en effet puissamment la Sorbonne de l'industrie.

Combien les constructeurs français ne possèdent-ils pas de projets d'instruments, dans lesquels des savants avaient mis déjà beaucoup d'idées et qui leur auraient rendu des services, peut-être immenses pour quelques-uns, projets qui ont été abandonnés parce que leur réalisation entraînait trop loin? Et pendant ce temps, nous voyions en Allemagne des laboratoires amplement pourvus où les professeurs achetaient largement les appareils courants et n'hésitaient pas à faire réaliser par les constructeurs les appareils nouveaux dont ils avaient besoin, ou dont ils avaient simplement l'idée. En cas de réussite, les travaux et les dépenses étaient poussés jusqu'à une mise au point définitive ; et alors les constructeurs proposaient à l'étranger ces nouveautés qui s'imposaient soit par l'appui d'un brevet, soit seulement grâce à l'avance prise.

Une autre cause de notre infériorité est la rareté de la main-d'œuvre.

Pour la mécanique de précision, qui joue un rôle si important dans l'atelier d'un constructeur

d'instruments de physique, l'enseignement est donné en France dans une section de l'école Diderot et les deux écoles d'horlogerie (et mécanique de précision), sise l'une à Paris (rue Manin), l'autre à Besançon. Mais les ouvriers sortant de ces écoles sont recherchés à Paris par les administrations (les P. T. T. par exemple) comme surveillants, par les industries de l'automobile et de l'aviation comme contrôleurs de fabrication, etc. Les ateliers des constructeurs d'appareils de précision ne trouveraient bientôt plus d'ouvriers, s'ils ne se formaient eux-mêmes des apprentis, souvent fils d'ouvriers de la même partie, fiers de leur métier et inaccessibles à la tentation des salaires plus élevés dans une industrie moins estimée, ou dans l'administration. Mais le nombre en est nécessairement restreint. La solution serait peut-être dans une décentralisation de l'industrie de la mécanique de précision. Les régions horlogères (Doubs, Jura, certaines vallées des Alpes) offriraient d'importantes ressources de main-d'œuvre faciles à éduquer, en raison des traditions et des goûts transmis par plusieurs générations. En cela nous nous conformerions à l'exemple de l'Allemagne, dont les grands constructeurs habitent aussi bien Iéna, Hambourg, Munich que Berlin.

Au point de vue de l'apprentissage de l'optique, il n'existe absolument rien. Il faudrait

créer à Paris une école d'optique, comprenant deux divisions : une pour l'optique proprement dite, l'autre pour la verrerie soufflée et graduée.

Cette dernière branche occupait en Allemagne avant la guerre plus de 3.000 ouvriers, répartis pour la plupart dans de petits villages de Thuringe où ils travaillaient à forfait chez eux, constituant ainsi une de ces précieuses industries de famille comme celles que j'ai bien connues jadis : autour de Langres pour la coutellerie, autour de Besançon pour l'horlogerie, autour de Grenoble pour la ganterie. Nous avons des constructeurs qui ne craignent aucune concurrence pour la graduation des appareils en verre. D'autre part, nous pouvons, dès aujourd'hui, compter sur nos maîtres verriers pour fournir à nos constructeurs des verres aussi bons, sinon meilleurs, que ceux d'Iéna ou de Bohême. Il importe donc au plus haut degré d'assurer des ouvriers aux maisons françaises, chez lesquelles les commandes affluent depuis le début de la guerre. Ce serait le but principal de la division « verrerie » de l'école d'optique.

La division « optique » proprement dite serait relative au travail des pièces diverses : plans, prismes, miroirs, lentilles, etc. L'école devrait encore procurer à l'optique les calculateurs, les préparateurs, les chefs de fabrication dont elle a besoin. Elle devrait donc, outre les cours de

travail manuel dont nous avons parlé, présenter un cours d'optique physique avec manipulations et un cours d'optique théorique avec nombreux exercices de calcul. Suivant leurs aptitudes et les cours suivis, les élèves en sortiraient avec des titres allant de l'ouvrier artiste à l'ingénieur. Tous devraient avoir travaillé le verre, aussi bien le futur ingénieur que l'apprenti. La première chose pour un opticien est de bien connaître la matière qu'il emploiera. C'est seulement après s'être mis à un long travail du verre que les frères Henry à Paris, que Draper et Ritchey aux États-Unis ont réalisé de leurs mains des plans et des objectifs célèbres.

L'école d'optique nous fournirait ainsi le personnel technique qui nous manque, non moins que le personnel ouvrier.

Je me permets d'appeler sur la création de cette école l'attention de l'État, de la Ville de Paris et de la Chambre de Commerce, qui y sont directement intéressés.

Un remède efficace serait ainsi apporté à la faiblesse des moyens dont dispose actuellement l'industrie de l'optique en France.

Ce sera alors aux chefs de maison de montrer le courage nécessaire pour enlever de haute main les positions qu'ils auraient toujours dû occuper.

*
* *

Vous avez sans doute remarqué dans la galerie de physique un très curieux baromètre à poids, accusant une variation de 1 millimètre de

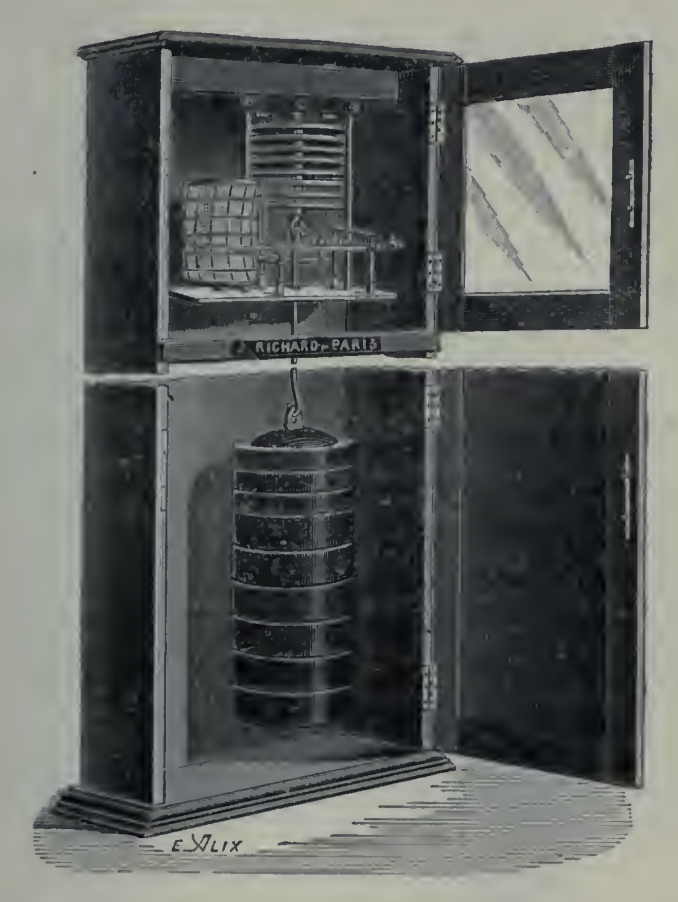


Fig. 17. — Baromètre à poids.

mercure dans la pression atmosphérique par un déplacement de 5 millimètres (ou, si l'on veut, de 20 millimètres) de la plume inscrivante. C'est notre dernière acquisition dans une branche

intéressante de nos appareils de précision, dont le commerce est satisfaisant, l'exportation surpassant notablement la vente en France même.

*
* *

Une industrie, qui se rattache encore par plus d'un côté à celle des instruments de précision, est la fabrication, chez nous très prospère parce que très soignée, des instruments de musique. L'exportation en a doublé de 1908 à 1913, passant de 10.865.000 francs à 21.115.000 francs; pour les pianos seuls, elle a été en 1913 : pianos à queue 504.000 francs, pianos droits 2.485.000 francs. Les importations en France représentaient en 1913 une valeur de 4.287.000 francs, en diminution de près d'un demi-million sur 1911; dans ces importations de tous pays, les pianos à queue entrent pour 504.000 francs, les pianos droits pour 608.000 francs, les violons et altos pour 35.000 francs. L'Allemagne et l'Autriche-Hongrie importent annuellement en France 1.200 pianos et 3.500 violons de bas prix, qui, sans doute, disparaîtront à peu près complètement d'eux-mêmes après la victoire. D'après les témoignages de sympathie qu'ils ont reçus de tous côtés, nos fabricants regardent comme certaine alors une recrudescence d'affaires, à laquelle ils sont prêts à suffire.

*
* *

L'industrie électrique a eu en France des débuts très pénibles ; elle doit encore aujourd'hui lutter contre des difficultés sérieuses, mais la concurrence étrangère est devenue beaucoup moins redoutable.

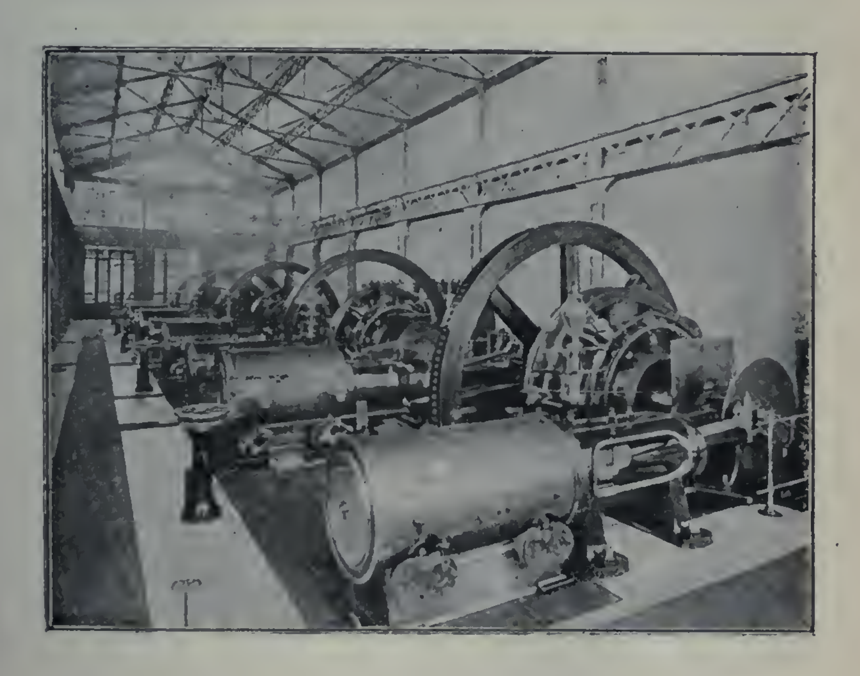


Fig. 18. — Salle des machines de l'usine électrique des lignes de Saint-Ouen—Champ-de-Mars—Bastille.

Si nous considérons d'abord la production de l'électricité, l'usine de la Compagnie parisienne des Tramways Saint-Ouen-Bastille (cinq groupes de 225 kilowatts, machines à vapeur système

Dujardin à pistons entraînant directement les dynamos, qui fournissent un courant continu à

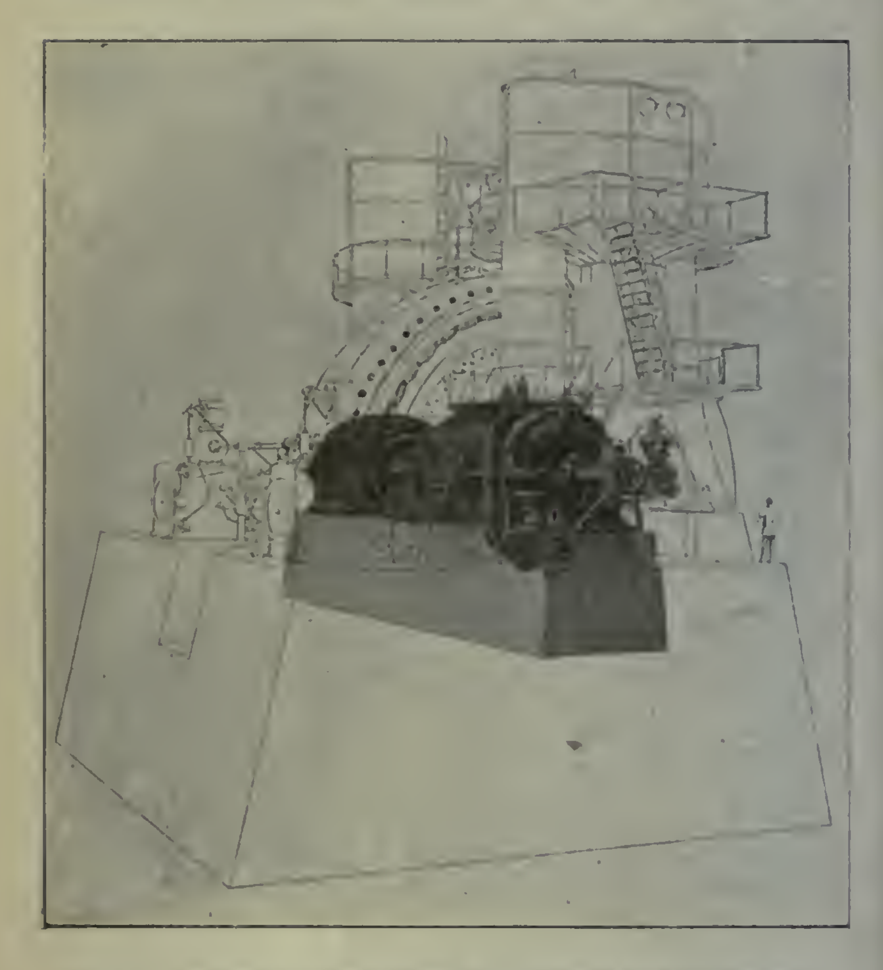


Fig. 19. — Encombrements relatifs d'une turbine à vapeur Westinghouse-Parsons de 5.000 kw. et d'une machine à piston de même puissance (d'après une figure de l'*American Electrician*).

550 volts) vous représentera assez bien le matériel en usage vers 1900. Aujourd'hui, on emploie comme moteur la turbine à vapeur (système de

Laval), qui permet d'obtenir, avec un arbre flexible, une vitesse de rotation de 10.000 à 30.000 tours par minute, suivant la puissance. L'usine que la Société d'Électricité de Paris a construite en ces dernières années, à Saint-Denis, peut être considérée comme le prototype des grandes usines centrales modernes à turbo-alternateurs et à fonctionnement automatique. Elle se compose essentiellement de trois groupes de bâtiments : les silos à charbon ; la salle des chaudières ; la salle des turbines à 13.000 $\frac{t}{m}$ entraînant les alternateurs (les derniers turbo-alternateurs construits à Jeumont sont de 10.000 kilowatts et peuvent être poussés à 12.000 kilowatts), avec annexe pour les tableaux de distribution. La puissance totale atteint actuellement et dépassera bientôt 100.000 kilowatts. Tout le système fonctionne automatiquement, depuis les bateaux qui amènent le charbon jusqu'aux tableaux de distribution. La Compagnie Parisienne de Distribution de l'électricité a installé sur le même modèle son usine de production d'électricité, à Saint-Ouen. Nous avons maintenant des compagnies en état de fournir tout le matériel nécessaire à l'installation de ces grandes usines.

Dès 1909, l'état de notre fabrication de matériel pouvait se représenter par le tableau ci-con-

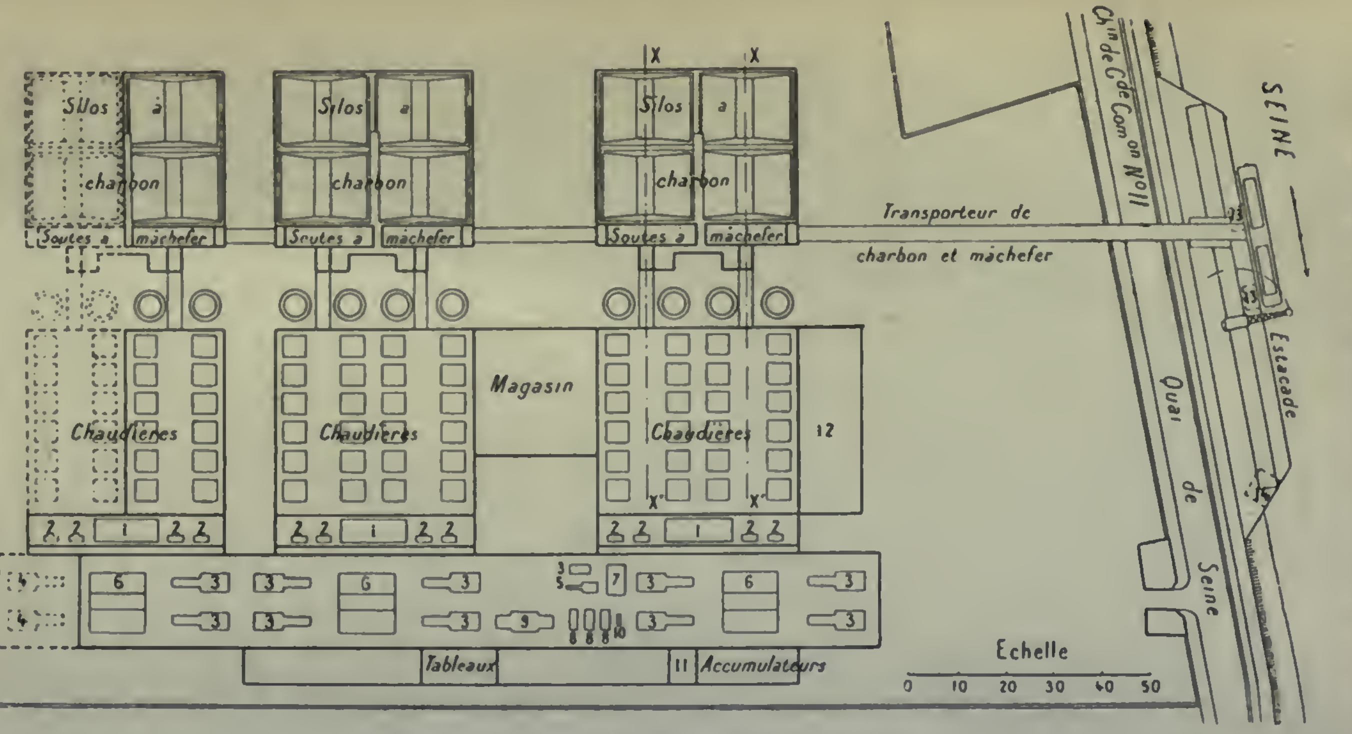


Fig. 20. — Plan général de l'Usine de Saint-Denis.

1, 1, 1 Pompes d'alimentation des chaudières.
2, 2, 2... Compteurs d'eau pour la vapeur condensée.
3, 3... 10 turbo-alternateurs de 6.000 kilowatts.
4, 4 2 turbo-alternateurs de 6.000 kilowatts projetés.
5 Turbo-dynamo de 300 kilowatts, 230 volts.
6, 6, 6 Fosses des machines auxiliaires pour 4 turbo-alternateurs.
7 Fosse pour la turbo-dynamo de 800 kilowatts.
8, 8... Groupes convertisseurs de courant à haute tension en courant continu à 220 volts.
9 Groupe convertisseur triphasé, biphasé, continu.
10 Survolteur pour les accumulateurs.
11 Bureau.
12 Réfectoire et cantine. Bains, douches. Ateliers et bureaux.
13 Chambres des galeries de prise d'eau.
14 Chambre des galeries d'évacuation.

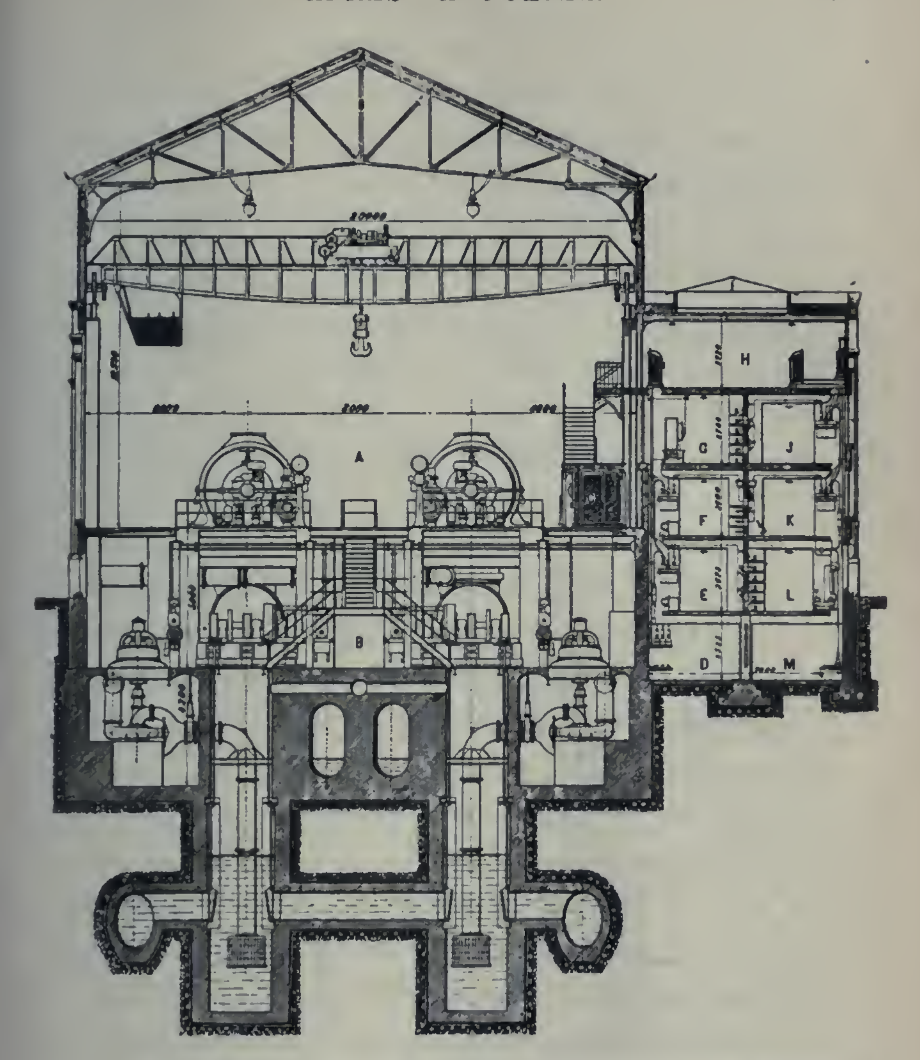


Fig. 21. — Usine de Saint-Denis, coupe transversale de la salle des machines.

A Groupes générateurs.
B Appareils auxiliaires.
C Petit tableau.
D Compartiment d'arrivée des câbles des machines.
E Compartiment des interrupteurs principaux.
F Compartiment des interrupteurs des barres de charge.
G Compartiment des rhéostats.
H Étage des pupitres de manœuvre.
J Compartiment des interrupteurs principaux des feeders.
K Compartiment des interrupteurs des barres de charge.
L Compartiment des limiteurs de tension.
M Manchonnage et départ des feeders.

tre, qui donne les chiffres de nos exportations et importations relativement aux divers pays [1] (les deux, dont nous étions particulièrement tributaires, mis à part) :

	Exportations	Importations	Excès des exportations sur les importations
	—	—	—
Allemagne .	1.334.200	11.712.350	— 10.368.150
Suisse . . .	1.942.800	6.782.000	— 4.839.200
Autres pays.	15.007.400	4.865.400	+ 7.142.000
	15.294.400	23.359.750	— 8.065.350

L'excédent des importations ne représente guère que les 6 % du total de la fabrication française (que l'on pouvait évaluer à 135 millions).

Si l'on considère que l'exportation allemande dépassait 250 millions de francs en 1909 et 300 milions en 1910, on voit quel vaste champ est offert à l'industrie française, si elle veut bien nous libérer des 23 millions que nous payons encore à l'industrie étrangère, si elle se décide enfin à profiter de l'accroissement de matériel réclamé par le développement continu et rapide de toutes les applications de l'électricité, développement dont l'industrie allemande a remarquablement su tirer parti.

(1) Tous ces chiffres sont empruntés au très intéressant article de MM. Eschwège et Legoufz sur l'Industrie électrique, dans les *Grandes Industries françaises*, chez Alcan, Paris, 1913.

Ce ne sont cependant pas les commandes qui nous manquent. Et, à ce point de vue, il est curieux de noter que l'Allemagne elle-même n'a jamais cessé de venir chercher chez nous certains objets. Nous avons en effet une pléiade d'anciennes maisons hautement réputées et qui ont été beaucoup les indicatrices des progrès accomplis. Que deviendront-elles en face des grandes compagnies actuelles ? Se cantonneront-elles dans certaines spécialités, ou abdiqueront-elles comme les petits commerçants devant les grands magasins ? Question troublante.

L'électricité étant produite, soit par les grandes usines centrales, soit par les usines locales à l'aide des chutes d'eau voisines, il s'agit d'en effectuer la distribution dans les 4.000 communes de France qui en font usage. Ce sera le rôle d'une branche de l'industrie dont l'importance augmente avec l'accroissement de la consommation. Pour ne parler que d'une source de cette consommation, à savoir, l'éclairage, la lampe de seize bougies consommait, il y a quinze ans, six dixièmes d'hectowatt-heure et coûtait, au prix de l'électricité à cette époque, neuf centimes par heure; aujourd'hui, elle dépense deux dixièmes d'hectowatt-heure et coûte moins d'un centime par heure; d'où la diffusion de ces lampes dans toutes les demeures. J'en dirais autant des lampes à arc pour l'éclairage intensif.

La valeur de notre appareillage à haute tension s'est affirmée à l'Exposition de Turin dans l'installation très remarquée que nous y avons faite d'un transport d'énergie à 110.000 volts sur un parcours en partie souterrain.

Le petit appareillage domestique est, je ne sais pourquoi, méprisé à tort et peu développé en France. Cependant, le fait, qu'aujourd'hui l'éclairage électrique se répand jusque dans les chaumières, montre qu'il y aurait fort à faire de ce côté, où nous sommes tellement en retard. Nous employons encore la moulure, abandonnée partout.

Pour les appareils de mesure et les compteurs, notre situation est déplorable. L'importation allemande s'élève à un million; et sur ce chapitre la France se place au sixième rang des pays envahis par les produits allemands, tandis qu'elle n'est qu'au treizième rang pour l'ensemble des chapitres concernant l'électricité. Et, vous le savez, nous avons des constructeurs de premier ordre.

La fabrication des isolants va péniblement, et cela tout à fait par notre faute. Nos isolateurs en verre ne sont pas recuits avec le soin voulu. Ceux en porcelaine ne valent pas ceux de fabrication étrangère. Il n'est cependant pas douteux que nous puissions nous-mêmes faire aussi bien que nos voisins.

En ce qui concerne les piles et les accumulateurs, je n'ai pas grand'chose à dire. Nous avons en France de bonnes fabriques d'accumulateurs ; mais les accumulateurs ne sont pas marchandise transportable ; ils ne donnent nulle part lieu à une exportation sérieuse. Relativement aux piles, on eut au début de la guerre une surprise désagréable : les petites piles de poche manquèrent complètement. Elles nous venaient d'Allemagne bien construites et à très bon marché. Il a fallu se mettre à en fabriquer avec le soin nécessaire et en grande quantité. J'espère que désormais nous ne négligerons plus cette petite industrie, qui réclamait une mise au point attentive et, cela fait, peut devenir fructueuse.

Du côté de l'éclairage électrique, si nous nous sommes laissé devancer dans les perfectionnements remarquables récemment apportés aux lampes à incandescence, nous avons toujours été en tête du progrès quant aux lampes à arc, et nos charbons sont très recherchés, pour les fours comme pour l'éclairage : en 1910, notre exportation de charbons s'est chiffrée par 6.520.000 francs contre 689.000 francs à l'importation. Je n'ai pas à vous rappeler les études scientifiques qui ont logiquement entraîné chez nous cette avance de l'industrie.

La fabrication des métaux au four électrique est très prospère en France (particulièrement

dans le Dauphiné, où elle a été bien étudiée et bien développée). Nous produisons certainement la moitié au moins du fer et de l'acier qui se fabriquent électriquement dans le monde entier. Nous avons dans notre sol en abondance le minerai d'aluminium, la bauxite, d'où l'électricité tire aujourd'hui, pour 2 francs, le kilogramme d'aluminium qui coûtait 1.250 francs par le procédé chimique de Henri-Sainte-Claire Deville. Cela ne peut qu'accroître notre reconnaissance envers le savant illustre qui, malgré l'insuffisance des moyens d'alors, réussit le premier à fabriquer ce métal en quantité suffisante pour en établir les précieuses propriétés.

L'électrochimie est également au voisinage de nos chutes d'eau l'objet d'une industrie active et sans cesse en éveil, tenant une place importante dans la fabrication mondiale du carbure de calcium, des produits azotés et des produits chlorés.

Sauf donc pour le matériel que nous devrions fabriquer en beaucoup plus grande quantité et pour les lampes à incandescence où nous avons un retard que je me plais à espérer momentané, notre industrie électrique est généralement en bonne voie. Il ne tient qu'à nous de la rendre prospère.

*
* *

Polybe nous rapporte que les Romains savaient prendre à leurs ennemis ce que ceux-ci avaient de meilleur, pour mieux les battre.

Certes, ce n'est point dans le pays de Descartes qu'il est nécessaire de faire valoir les avantages de la méthode, c'est-à-dire d'un ensemble de procédés raisonnés pour faire quelque chose que ce soit. « Les questions de méthode priment toutes les autres », a dit Descartes. Ce n'est point davantage à nous qu'il faut apprendre en quoi consiste l'organisation, la constitution administrative d'un État. Napoléon a magistralement établi cette disposition de tous les rouages suivant un plan déterminé. Le Kaiser n'a fait que copier Napoléon, avec le génie en moins. Nous n'en devons pas moins reconnaître que dans l'organisation actuelle des Allemands nous pourrions avantageusement prendre bien des choses qui sont mieux que chez nous; nous pourrions spécialement faire un judicieux emploi de leurs procédés commerciaux.

Ils s'entendent en effet admirablement à faire valoir des produits inférieurs aux nôtres, par une publicité qui met en jeu tous les modes de sollicitation : catalogues très bien faits, en toutes langues; voyageurs complaisants, cherchant à satisfaire les goûts de la clientèle (et non à lui imposer les leurs); nombreux comptoirs d'exposition et de vente; crédits à longue échéance,

voire triompher de sacrifices momentanés pour la concurrence.

Quant à leur industrie, comme nous l'avons déjà dit, elle est sans cesse fécondée par le laboratoire.

Ah! permettez-moi, à la veille de la victoire de nos armes, de faire retentir ici ce cri que dès 1868 poussait notre grand Pasteur :

« Prenez intérêt, je vous en conjure, à ces demeures sacrées que l'on désigne du nom expressif de *laboratoires*. Demandez qu'on les multiplie et qu'on les orne : ce sont les temples de l'avenir, de la richesse et du bien-être. C'est là que l'humanité grandit, se fortifie et devient meilleure. Elle y apprend à lire dans les œuvres de la nature, œuvres de progrès et d'harmonie, tandis que (ajoutait-il par une vue prophétique) ses œuvres à elle (humanité) sont trop souvent celles de la barbarie, du fanatisme et de la destruction. »

Et dans son laboratoire, savez-vous ce que faisait alors mon maître vénéré? Le mot du professeur anglais Huxley quelques années plus tard vous l'apprendra mieux que tout discours :

« Les découvertes de M. Pasteur suffiraient à elles seules pour couvrir la rançon de guerre de cinq milliards payés à l'Allemagne par la France. »

Il aurait bien mérité cependant d'être écouté

ce grand bienfaiteur de l'humanité, quand il disait (vous voudrez bien me permettre encore cette citation) :

« La science doit être la plus haute personnification de la patrie, parce que de tous les peuples celui-là sera toujours le premier qui marchera le premier par les travaux de la pensée et de l'intelligence. »

Que les chefs de nos grandes usines se pénètrent de ces pensées. Sans laboratoire de recherches, pas d'inventions, pas de perfectionnements, pas même le contrôle du travail quotidien. La seule analyse des gaz de la cheminée, comme je l'ai vu faire en Angleterre, rapidement par de jeunes masters, peut économiser chaque jour des milliers de francs.

Les dirigeants financiers de nos établissements industriels devraient aussi méditer les paroles de Pasteur et s'unir aux techniciens en un effort fécond. N'avons-nous pas trop souvent vu, au contraire, la haute banque, exploitant notre goût pour l'exotisme, détourner vers l'étranger des fonds qu'elle refusait à l'industrie française ?

Nous avons un personnel remarquable d'ingénieurs excellents, mais se souciant trop peu d'appliquer l'enseignement élevé qu'ils ont reçu au métier qu'ils pratiquent. Sauf en effet au Conservatoire, on ne se préoccupe guère dans le haut enseignement de montrer à côté de la science

pure les applications qui en dérivent, de façon à faire comprendre comment la théorie doit sans cesse guider la pratique.

Aux ouvriers français, que plus de vingt années d'enseignement dans cette salle et au laboratoire, que plus de cinquante années de contact journalier, m'ont permis de bien connaître et d'aimer beaucoup, je ne connais qu'un défaut, c'est de ne pas être en nombre. A l'atelier, aux champs, non moins qu'aux armées, nous souffrons de notre grande plaie, l'abaissement honteux de la natalité. Si du moins, suivant un noble exemple, nous écartions résolument du travailleur le danger épouvantable de l'alcool !

Ne devrions-nous pas d'ailleurs encourager leur travail en préférant les produits français à ceux vers lesquels un sot engouement nous entraîne par cela seul qu'ils nous viennent de l'étranger ?

En un mot, soyons convaincus que toutes nos volontés, toutes nos énergies doivent être tendues vers un même but, la reconstitution d'une France telle qu'ont le droit de la vouloir ceux qui versent leur sang pour elle.

*
* *

Ces pensées, qui hantent tous les esprits, trouveront sur plus d'un point leur confirmation

dans le développement prodigieux d'une industrie, la cinématographie, dont je veux, en terminant, vous résumer brièvement l'histoire.

Le cinématographe est né des expériences de Marey. Après avoir étudié les mouvements physiologiques au moyen de la capsule manométrique, l'illustre savant bourguignon employa la photographie à analyser ces mouvements et d'une façon générale à représenter les phases successives d'un mouvement quelconque.

La figure ci-contre vous fera aisément com-



FIG. 22. — Chronophotographie d'un corps qui tombe d'après Marey.

prendre le principe de la chronophotographie, telle que Marey la pratiquait dès 1882. Devant un rideau de velours noir tombe une sphère blanche éclairée par le soleil. Une règle divisée est verticalement placée près du champ noir pour mesurer les espaces parcourus. Un cadran chronométrique sert à mesurer les intervalles de temps qui séparent les images successivement produites sur une plaque photographique devant laquelle tourne un disque fenêtré. Ces deux systèmes de mesures déterminent une série de positions du mobile à des époques connues. Si le disque obturateur avait une rotation parfaitement uniforme, la chronophotographie donnerait immédiatement la loi de la chute de la bille.

Marey a enregistré ainsi les attitudes successives de l'homme ou des animaux dans la marche, la course, le saut, etc., étudié les premières machines volantes, analysé le vol des oiseaux, etc.

Je ne puis entrer ici dans le détail des perfectionnements qui ont permis de multiplier suffisamment les éclairements successifs pour saisir la série des phases de mouvements aussi rapides que ceux de l'aile d'un pigeon ou d'un goéland, dont le battement dure à peu près un neuvième de seconde.

Mais je tiens à vous dire que, dès l'origine de ses belles expériences, le savant physiologiste se préoccupa de faire la synthèse des éléments

Fig. 23. — Un homme qui court : chronophotographies sur plaque fixe, d'après Marey.

de son analyse. Il employa à cet effet le jouet charmant inventé en 1832 par le grand physicien



Fig. 24. — Un homme qui saute : attitudes successives, d'après Marey



Fig. 25. — Trois attitudes du pigeon d'après Marey :

a Projection verticale à la fin de l'abaissement de l'aile ;
a' Projection horizontale au même instant ;
b Projection verticale au début de la remontée de l'aile ;
b' Projection horizontale au même instant ;
c Élévation de l'aile projetée verticalement ;
c' La même projetée verticalement.

Fig. 26. — Chronophotographies représentant, d'après Marey, les attitudes d'un goëland aux mêmes phases d'un coup d'aile, mais prises sous des aspects différents ;

A, d'en haut ; B, de côté ; C, obliquement d'avant et de côté.

belge Plateau, le *phénakisticope,* dont les fabricants de jouets firent bientôt le *zootrope* (qui, sous une forme plus commode, a certainement amusé l'enfance de beaucoup d'entre vous). Dans cet appareil, tournant avec une vitesse telle que les images tracées de façon à représenter les différents actes d'un même mouvement se succèdent sur la rétine à moins d'un dixième de seconde, on voit ce mouvement s'effectuer d'une façon continue. Ai-je besoin d'ajouter que, le jour où Marey mit dans le zootrope la série des photographies relevées dans une de ses expériences chronographiques, il créa le *cinématographe?*

Vers 1892, Edison établit un appareil permettant de prendre d'une scène donnée une suite de vues à intervalles réguliers (ce qui est essentiel). Il employa à cet effet une bande sensible perforée, se déroulant mécaniquement derrière un objectif. De la bande négative ainsi obtenue il tirait par contact une bande positive que l'on examinait individuellement dans un appareil à vision directe, appelé le *kinétoscope.* Cet appareil eut un gros succès à Paris, place de l'Opéra, en 1893-1894.

Peu après, en 1895, les frères Lumière, de Lyon, montraient, les premiers, les vues cinématographiques projetées sur un écran et résolvaient ainsi le problème industriel. Nous devons

donc les regarder comme les pères du cinématographe actuel, dont Marey fut l'instigateur scientifique.

Vous connaissez les perfectionnements successifs qu'a reçus le cinématographe : les vues en couleurs, l'association ingénieuse du cinématographe et du phonographe réglés synchroniquement.

Au point de vue commercial, la France est restée en tête du mouvement. Nous devons noter toutefois que les Américains ont récemment fait de grands progrès : ils évincent aujourd'hui à peu près complètement les bandes étrangères. Après eux, viennent les Italiens, qui, depuis deux ans, se sont lancés dans la cinématographie avec une véritable furie, qu'expliquent leur tempérament artistique, la beauté de leur ciel et de leurs paysages. Nous citerons ensuite les Danois qui ont eu grande vogue en ces dernières années, comme auparavant les littératures scandinaves. Enfin se placent les Allemands, dont le goût spécial, l'esprit plutôt lourd ne conviennent guère en dehors de leur pays.

M. Gaumont, avec son obligeance coutumière, a bien voulu se charger de vous faire voir sur cet écran la projection de deux bandes intéressantes.

Voici d'abord une bande qui m'a été prêtée par M. le professeur Georges Weiss, directeur de l'Institut Marey. M. Noguès a su y photogra-

phier à la vitesse de deux cent vingt images par seconde chacun des actes que nous allons vous montrer à la vitesse de douze images par seconde, de sorte que le mouvement naturel sera ralenti dix-huit fois, ce qui vous permettra d'en suivre aisément toutes les phases, d'après une propriété merveilleuse de l'appareil déjà signalée par Marey (1).

Dans ma première conférence, je vous ai parlé longuement des sous-marins. J'avais des raisons de penser qu'ils joueraient un rôle important dans cette guerre. Les événements ne m'ont que trop donné raison. J'ai donc pensé que vous assisteriez avec quelque intérêt aux manœuvres de la plongée d'un sous-marin. Grâce à M. Baffert, ingénieur des établissements Schneider, vous pourrez assister aux essais du sous-marin *Ferré*, construit pour le Pérou, où il sera transporté par le solide bateau que vous voyez maintenant sur l'écran (2).

Je vous laisse sur ces impressions salutaires. Elles nous rappellent nos devoirs, non moins impérieux que ceux des héros qui nous conquièrent la victoire.

---

(1) Sur l'écran on voit successivement un chien au galop, un chien qui saute, des vols de pigeons, des vols de mouettes.

(2) Le cinématographe montre tous les essais de plongées et d'émersions effectués par le sous-marin dans la rade de Toulon.

NANCY-PARIS, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AOÛT 1915

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915

11e Série c

MINES ET TRANCHÉES

PAR

HENRY DE VARIGNY

B

AVEC 5 FIGURES DANS LE TEXTE

DEUXIÈME MILLE

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — RUE DES BEAUX-ARTS, 5-7 | NANCY — RUE DES GLACIS, 18

32

Prix : 60 centimes.

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1915

Série de volumes in-12 (82 volumes parus)

PRÉLIMINAIRES ET DÉBUT DE LA GUERRE

Le Guet-apens. *23, 24 et 25 juillet 1914* . . . . 40 c.
La Tension diplomatique. *Du 25 juillet au 1er août 1914* . . . . . . 60 c.
En Mobilisation. *2, 3 et 4 août 1914*. . . . . 60 c.
La Journée du 4 août . . . . 60 c.
En Guerre. *Du 5 au 7 août 1914*. . . . . 60 c.
La Diplomatie française. — **L'Œuvre de M. Delcassé.** Avec portrait. 60 c.

La Séance historique de l'Institut de France. Préface de M. H. Welschinger, de l'Institut . . . . 60 c.
La Journée du 22 décembre (*Rentrée des Chambres*). Préface de M. H. Welschinger, de l'Institut . . . . 60 c.
Paroles françaises (*Diplomates, publicistes, académiciens, universitaires, etc.*). Volumes I et II, chacun à. . . . . 60 c.

LES COMMUNIQUÉS OFFICIELS DEPUIS LA DÉCLARATION DE GUERRE

Du 5 août 1914 au 31 octobre 1915. 16 volumes. Chaque volume . . . . 60 c.
Nos Marins et la guerre (*Du 4 août 1914 au 15 août 1915*). 2 volumes, chacun à . . . . 60 c.

LES MISES A L'ORDRE DU JOUR

I à XIII. — *Du 8 août au 28 décembre 1914*. 13 volumes. Chaque volume. 60 c.
XIV. — *Du 29 décembre 1914.* Avec la *Liste alphabétique des noms cités depuis le 8 août* . . . . 90 c.

Extraits du « Bulletin des Armées de la République ».

I. — Les Premiers-Paris. *Du 15 août au 3 septembre 1914* . . . . 60 c.
II. — Les Premiers-Bordeaux. *Du 4 septembre au 21 octobre 1914*. 60 c.
III. — Les Premiers-Bordeaux. *Du 24 octobre au 9 décembre 1914*. 60 c.

La Vie économique en France pendant la Guerre actuelle, par Paul Beauregard, membre de l'Institut . . . . 40 c.
L'Organisation du Crédit *en Allemagne et en France*, par André Liesse, membre de l'Institut . . . . 90 c.
Du Rôle de la Physique à la guerre. De l'Avenir de nos Industries physiques après la Guerre, par J. Violle, membre de l'Institut. Avec 26 figures. . . . . 75 c.
Les Pages de Gloire de l'Armée belge. *De la Gette à l'Yser. A Dixmude,* par le commandant Willy Breton, de l'armée belge. 1915. Avec 4 cartes. . . . . 60 c.
La Guerre et les Monuments. *Cathedrale de Reims, Ypres, Louvain, Arras,* par Lucien Magne, inspecteur général des monuments historiques. Avec 32 illustrations . . . . 1 fr.
Les Volontaires étrangers *enrôlés au service de la France en 1914-1915,* par M.-C. Poinsot . . . . 60 c.
Les Terres meurtries, par A. de Pouvourville. Avec 7 cartes . . . 60 c.

Mines et Tranchées

PAR

Henry de VARIGNY

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés à la presse, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5);

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

Mines et Tranchées[1]

On savait bien que dans le passé, sous Louis XIV, par exemple, les tranchées avaient joué un rôle important dans les campagnes, surtout dans la guerre de siège, où les mines, elles aussi, étaient et sont encore chose normale. Mais avec les progrès de l'armement, qui devaient changer la face des choses, et des procédés de laguerre, il semblait que ces méthodes d'attaque et de défense eussent fait leur temps. Et certains paraissent croire que la guerre, en les continuant, en est revenue à des méthodes presque préhistoriques.

C'est là une erreur ; on ne les a jamais abandonnées, et dans les guerres les plus récentes il en a été fait grand usage : autrefois à Sébastopol, plus récemment durant la lutte russo-japonaise, hier encore, dans les Balkans, au siège d'Andrinople, par exemple, où, d'après le récit du colonel Piarron de Mondésir, tranchées, fils de fer, grenades à main, boucliers de sapeurs, ont été des deux côtés

(1) Ayant publié une partie importante du travail qui suit, le 1er juillet 1915, dans la *Revue des Deux-Mondes,* sous le titre de *Tranchées et Mines,* j'ai le devoir et le plaisir de remercier M. Francis Charmes, directeur de la *Revue,* de m'avoir, avec sa courtoisie habituelle, autorisé à reproduire cet article dans les pages qui suivent.

d'emploi constant (1). Ce qui est nouveau, ce n'est point l'emploi de ces procédés : ils ont toujours existé ; mais l'extension qui leur a été donnée. Ce ne sont point les alliés qui l'ont imposée ; la guerre de tranchées et de mines n'est pas trop dans leur tempérament. « Les Français ne sont pas bons pour les levées de terres », disait Turenne. Ils sont plus portés au combat au grand jour, aux opérations brillantes, exigeant l'ardeur et la vitesse, qu'à la lutte pied à pied, tenace, entre lignes de réduits souterrains, qui demande de la patience et l'habileté à se défiler. Mais ils ont dû l'accepter et s'y adapter. Ils étaient excellents à la guerre à découvert : ils ont dû subir la guerre de taupes, et s'y sont faits parfaitement. Ils ont la souplesse et la plasticité requises, et l'ont bien montré.

Et, sans doute, l'ennemi qui a cru devoir chercher un refuge dans les méthodes du génie, doit regretter à plus d'un point de vue la leçon qu'il nous a donnée.

Le but de la guerre est de vaincre, d'imposer sa volonté, d'amener la décision. Or, la guerre de tranchées ne fait que retarder cette décision. C'est un de leurs généraux qui l'a dit. Voici ce qu'écrit Bernhardi : « Dans tous les cas, les positions fortifiées se sont montrées incapables de procurer le succès qui est l'objet de toute guerre... » Il dit encore : « Dès qu'Osman (à Plewna) se fut laissé river à ses positions, il cessa d'être vraiment dangereux. » Et ailleurs : « Au point de vue tactique,

(1) Colonel Piarron de Mondésir, *Siège et prise d'Andrinople* (Chapelot, 1914). Pour Sébastopol, voir *Sébastopol, guerre de mines*, par le capitaine F. Taillade (Berger-Levrault, 1906) ; et *La Guerre de Tranchées, il y a soixante ans*, par Victor Goedorp (Dorbon aîné).

la fortification augmente les avantages de la défense frontale, mais augmente aussi grandement les inconvénients. D'abord, les retranchements portent toujours à accorder plus de valeur à la protection qu'à l'action. Puis ils rendent à peu près impossibles les changements de front et le passage à l'offensive, car ces deux opérations contiennent un renoncement à la protection dont précisément on attend le salut. Pour l'assaillant, il se dégage de tout ceci qu'il ne doit pas se laisser attacher par les positions fortifiées quand il peut l'éviter; il ne ferait que se soumettre à la loi de l'adversaire. Il doit, au contraire, tâcher d'entourer la position et, par là, de la rendre inoffensive. Par là seulement on peut garder le fier privilège de l'initiative, même en présence d'un ennemi terré. »

Depuis que la guerre de tranchées a été inaugurée, les positions ne changent plus, et l'assaillant a perdu « le fier privilège » dont parle Bernhardi. Il en est réduit à se défendre, et sait que le temps travaille contre lui. La guerre de tranchées, c'est la fin de l'agresseur. Dans le cas présent, il est devenu assiégé, et l'assiégé succombe toujours avec le temps : pensée fortifiante, qui nous a fait accepter une méthode si étrangère à notre tempérament, et qui semble arriérée et désuète. Arriérée, au sens d'ancien, c'est certain; désuète, pas du tout. La guerre de tranchées s'est faite à toutes les époques, et elle se fera encore, au moins autant que par le passé. La campagne de 1914-1915 lui donnera au contraire un regain de faveur. A la guerre, il faut avancer, mais il est plus essentiel encore de ne pas reculer; cette considération suffit pour justifier le recours à la méthode des tranchées.

Observons, en passant, que les spécialistes au

courant de la question, et qui savaient les services rendus par la tranchée dans les guerres les plus récentes, avaient tout fait, chez nous, pour avertir l'armée et la renseigner. On ne les a pas assez écoutés : la fortification de campagne n'était suffisamment connue et appréciée ni des hommes ni des chefs. Pourtant un ancien professeur à l'École supérieure de Guerre, le colonel du génie L. Piarron de Mondésir, dans un *Essai sur l'emploi tactique de la fortification de campagne* publié pour la première fois en 1904, et dont la 4e édition a paru en 1910 (Berger-Levrault), a parfaitement indiqué tous les avantages de la fortification de campagne, et les cas divers où elle s'impose. Par des exemples nombreux il a montré les services qu'elle rend, et combien elle était prévue et organisée chez nos ennemis. Il voulait qu'elle fût également prévue et organisée chez nous ; il voulait que la tranchée fût chose à laquelle on songeât aussitôt qu'il y avait arrêt, et risque de recul. « La construction d'un type de retranchement unique et perfectible, écrivait-il (p. 88), doit être entrée dans les réflexes des sapeurs et des fantassins. » Impossible de mieux dire. Malheureusement, elle n'y était pas tout à fait entrée. Désormais elle en fera partie, cela n'est pas douteux.

Comment prit naissance la guerre de tranchées, comment elle évolua, comment naquit et évolua aussi la guerre de mines : voilà ce que je voudrais dire, pour indiquer encore la façon dont elles se pratiquent en ce moment, pour quelque temps.

*
* *

I

C'est évidemment dans la préhistoire qu'il faut aller chercher la première tranchée ; non pas à l'époque gallo-romaine ou celtique, à l'époque « proto-historique » à laquelle le très regretté et héroïque Joseph Déchelette a consacré son dernier livre, paru quelques semaines avant la déclaration de guerre (son *Archéologie Celtique ou Proto-historique,* formant le quatrième volume de son magistral *Manuel d'Archéologie*), mais plus loin encore. Déjà les Celtes avaient un armement perfectionné : casques, cuirasses, boucliers, épées, poignards, lances, javelots, et ils savaient s'abriter derrière leurs armes défensives. Mais c'est encore plus en arrière dans le passé, chez l'homme préhistorique, chez la brute néanderthalienne et parmi ses devanciers, qu'a dû commencer la tranchée.

Au début, elle dut être fournie par la nature. Dressé à l'art de se défiler pour surprendre les animaux dont il se nourrissait, et les approcher assez pour leur envoyer la pierre, la flèche ou le javelot à pointe en silex qui les mettaient hors de combat, le primitif savait se cacher derrière les rochers, les arbres, s'avancer en rampant dans les dépressions de terrain, utiliser les rigoles creusées par les eaux sauvages. Dépressions et rigoles furent ses premières tranchées.

L'homme qui, après avoir utilisé les éclats de silex fournis par la nature comme armes de jet, outils, ustensiles, sut façonner lui-même délibérément des silex en des pièces qui sont des merveilles de finesse et d'élégance de formes, cet homme,

assurément, avait trop d'ingéniosité pour ne pas façonner aussi des accidents de terrain. D'abord il dut développer, améliorer les accidents naturels, les approfondir, les élargir. Les animaux de chasse ont leurs habitudes : on sait où ils passent, où ils vont boire. L'homme primitif ne l'ignorait pas, et s'embusqua sur leurs routes. Il fut amené à perfectionner ses embuscades par les avantages qu'il leur trouva, puis à en créer de toutes pièces; il possédait des silex à fouiller le sol.

S'il avait avantage à se défiler dans ses rapports avec les animaux, il en avait souvent autant dans ses rapports avec ses semblables. La tranchée d'attaque ou de défense prit naissance : on s'y tenait abrité, prêt à repousser les ennemis à coups de pierres ou de flèches. Mais c'est seulement après l'établissement de groupements humains ayant quelque cohésion, que se formèrent des agglomérations plus ou moins défendues par des murs et des fossés, et qu'eurent lieu des guerres un peu étendues, comportant quelque stratégie et une certaine technique dans les procédés de combat. Il est du moins permis de le conjecturer.

Telle fut l'origine. La tradition se transmit des préhistoriques aux proto-historiques, et à mesure que l'homme augmentait ses ressources, intellectuelles et matérielles, il perfectionnait aussi ses méthodes de guerre, conservant et améliorant celles qui lui avaient été léguées. La tranchée est de celles-ci, et elle est devenue chose très complexe et efficace.

On peut être surpris, toutefois, du rôle des tranchées dans la guerre présente. Les stratégistes diront pourquoi, dans le choc de masses actuel, elle s'est imposée : et peut-être diront-ils que dans

les futures guerres de peuples, à effectifs énormes et à fronts démesurés, la tranchée est appelée à jouer un rôle prépondérant, tout en faveur de celui qui y aura recours le plus tôt, et le plus près de sa frontière. Les considérations sur l'art de la guerre, qui se publieront pendant les prochaines années, seront infiniment intéressantes. Mais n'anticipons pas. Notons toutefois que la forme qu'a prise la guerre actuelle a été très exactement prévue dès 1902 par un remarquable écrivain militaire et artilleur, le lieutenant-colonel Émile Mayer, dans un article véritablement prophétique, qui a été republié dans les journaux en 1914, mais avec une attribution inexacte, comme étant du critique militaire suisse éminent, le colonel Feyler, du *Journal de Genève*. Il parut en Suisse, dans la *Revue militaire Suisse*, sous le pseudonyme « Émile Manceau », mais il est bien de notre compatriote M. Émile Mayer, auteur de beaucoup d'études militaires de grand intérêt, publiées sous les pseudonymes de Manceau et de Veuglaire, dans la *Bibliothèque Universelle* de Lausanne, et dans la *Revue militaire Suisse,* comme le rappelle celle-ci, en reproduisant dans son numéro de juin 1915 divers passages de l'article prophétique de 1902.

Voici comment, en 1902, le lieutenant-colonel E. Mayer voyait « la bataille de l'avenir », dans l'hypothèse de deux adversaires de force sensiblement égale, possédant des moyens d'attaque et de défense équivalents :

S'il y a égalité dans l'armement, dans les effectifs et dans la valeur morale des troupes en présence, il est évident qu'il y a égalité aussi dans leur condition tactique. Il cesse bientôt d'y avoir un parti qui attaque, un autre qui est attaqué. Les deux ennemis ne tardent pas à se trouver logés,

en quelque sorte, à la même enseigne. Ils s'immobilisent comme les troupes qui défendent un camp retranché et celles qui concourent à son investissement. A l'extérieur de la ceinture des forts, et sous leur canon, des troupes de sortie peuvent se déplacer et tenter des coups de main. Mais la garnison des forts et les détachements qui gardent les ouvrages de contrevallation restent inutilisés et sont comme neutralisés.

C'est là le caractère qu'il faut attribuer à la bataille défensive de l'avenir. On se la représente comme mettant face à face deux murailles humaines presque au contact, séparées seulement par l'épaisseur du péril, et cette double muraille va rester presque inerte malgré la volonté d'avancer qu'on a de part et d'autre, malgré les tentatives qu'on fait pour y réussir.

L'une de ces lignes cherchera, ne pouvant réussir de front, à déborder l'autre. Celle-ci, à son tour, prolongera son front, et ce sera un concours à qui s'étendra le plus, dans la mesure où son effectif le lui permettra. Ou du moins les choses se passeraient ainsi si l'on pouvait se développer indéfiniment. Mais la nature présente des obstacles. La ligne s'arrêtera à un point d'appui, à une mer, à une montagne, à la frontière d'une nation neutre.

A partir de ce moment, il n'y a pour ainsi dire pas de raison pour que la lutte finisse, du moins de ce côté. C'est ailleurs, c'est en dehors de ce champ de bataille (où l'on ne se bat pas !) qu'on cherchera la victoire, et on la cherchera par des manœuvres tactiques analogues à celles des troupes de sortie dont nous parlions tout à l'heure, lorsque nous envisagions ce qui se passe dans un camp retranché.

C'est donc à des circonstances extérieures que sera due la fin de la guerre purement défensive de l'avenir. Par exemple, on se trouvera contraint par l'état des finances ou par la politique à demander la paix ou à l'accepter, même sans avoir remporté des avantages marqués, sans avoir subi des défaites décisives. Quand on songe à ce que coûte par jour aux Anglais la guerre du Transvaal, qu'on suppute la dépense qu'occasionnerait l'entretien d'effectifs triples, quadruples, quintuples ! Le crédit des États s'épuise vite ; les trésors de guerre se vident ; d'autre part, toutes les familles seront en deuil et inquiètes ; plus que jamais elles souffriront dans leurs affections immédiates. Elles se lasseront de voir les armées piétiner sans avancer, mais non sans subir des pertes douloureuses. Et c'est cela qui mettra fin à la campagne, plutôt que les grandes victoires du genre de celles d'autrefois.

Ainsi qu'il a été déjà remarqué, la tranchée n'est point une innovation : elle a toujours existé, bien qu'on l'ait plus ou moins employée selon les circonstances. Peut-être bien, d'ailleurs, l'armement actuel a-t-il contribué à la remettre en honneur.

Elle était en usage il y a vingt-deux siècles. Polybe, l'historien grec, raconte ce qui suit, dans un passage que M. Baguenault de Puchesse a rappelé dans le *Journal des Débats* :

Les deux consuls romains, dit-il (*Histoires*, livre I), L. Postumus et Q. Manilius, ayant débarqué en Sicile avec les légions pour défendre le roi Hiéron, leur allié, résolurent de commencer la guerre avec hardiesse, marchant contre Agrigente avec toute leur armée et s'étant campés à 8 stades de la ville.

Les Carthaginois ne manquèrent point de les attaquer, et ils arrivèrent jusqu'à leurs retranchements, mais les Romains les repoussèrent et en firent un grand carnage.

Il n'y eut plus pendant longtemps que des combats légers ; et l'espace qui était demeuré de part et d'autre entre les deux camps fut fortifié de telle sorte qu'il y avait vers la ville un long fossé pour empêcher que les ennemis ne fissent des sorties, et un autre au-dessus des camps pour se défendre contre ceux qui pourraient venir... Et, du reste, il y avait entre les fossés et les deux armées de bons corps de garde, séparés les uns des autres par un court intervalle.

Des deux parts, on apportait avec abondance les vivres et tout ce qui était nécessaire.

Les affaires demeurèrent en même état environ cinq mois, sans que l'un des partis remportât sur l'autre aucun avantage qui pût augmenter ses espérances ; car on ne donnait que de petits combats.

Et Polybe dit encore (livre XIII) de la campagne d'Amilcar Barca contre Junius :

Les forces de part et d'autre étaient égales : les camps bien fortifiés et inaccessibles ; l'intervalle qui les séparait

bien petit ; d'où il arriva qu'il se livrait tous les jours des combats particuliers, mais jamais un général.

Toutes les fois qu'on en venait aux mains, on perdait du monde ; dès qu'on sentait l'ennemi supérieur à soi, on se jetait dans les retranchements pour se mettre à couvert, puis on revenait à la charge.

En langage contemporain, cela se nomme tranchées, attaques et contre-attaques.

Tranchées et fortifications de campagne passèrent du monde ancien à celui qui lui succéda, au Moyen Age et au monde moderne.

D'après le général Brialmont, dans son ouvrage sur la *Fortification des champs de bataille,* Charles-Quint aurait particulièrement insisté sur la grande importance des ouvrages de campagne ; il attacha une compagnie de 400 pionniers à chaque régiment de lansquenets. La précaution était fort utile, les soldats d'alors n'aimaient guère plus que ceux d'aujourd'hui, ou plutôt de l'an dernier, à manier la pioche, et l'on ne trouvait pas toujours assez de paysans à réquisitionner pour les suppléer dans cette besogne.

Ce système, si contraire à l'impétuosité d'un Condé, convenait à l'habileté d'un Turenne. Ce général employait même les cavaliers au creusement des tranchées, et il faisait porter à ses dragons des pelles et des pioches attachées à leurs selles, dit M. P. Gaulot dans le *Figaro.*

Il eût été bien étonnant que Frédéric II n'eût pas été un partisan convaincu des retranchements. « L'officier, disait-il, a besoin de diverses connaissances, mais une des principales est celle de la fortification. » Ses successeurs, on le voit, suivent son exemple. Il y eut recours en maintes circonstances, et il en tira de grands avantages, notam-

ment en 1761, alors qu'il résista, avec 50.000 hommes, à 130.000 Austro-Russes, dans le camp retranché de Bunzelwitz.

En quoi consiste la tranchée, chacun le sait; mille descriptions en ont été fournies dans les journaux. Elle est parfois très perfectionnée, ayant été complétée par des demeures souterraines excavées dans

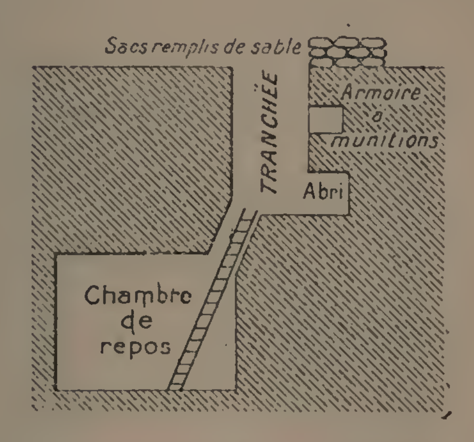


Fig. 1. — Coupe d'une tranchée avec armoire à munitions et abri contre obus en avant et chambre de repos en arrière. La profondeur à laquelle on creuse la chambre de repos varie beaucoup.

(D'après l'*Illustration*.)

le sol. La vue, assurément, y est limitée; on n'y découvre pas un horizon étendu comme cela a lieu, par exemple, pour les cavernes des troglodytes creusées dans la colline de Saint-Chamas ou encore dans la vallée de la Loire; mais on peut y vivre quelque temps et avec un certain confort. Elles ne sont malheureusement pas toutes aussi bien aménagées; il en est de pleines d'eau, ou à peu près : affaire de géologie, et de forme du sol.

Quant au principe des tranchées, il reste le même

que par le passé. Ce sont des excavations, de profonds sillons où le soldat peut se tenir debout, dans le sol, en ligne droite, courbe ou sinueuse, complétés par un parapet formé de la terre extraite, et rejetée sur le bord, en avant, face à l'ennemi. On les appelait parallèles, parce que, dans les sièges où ils étaient d'usage courant, ils étaient creusés parallèlement à l'ouvrage qu'il s'agissait d'approcher.

Le point de départ d'une tranchée est généralement un point abrité où l'on peut commencer le travail en paix ; une fois qu'on dispose de l'amorce, on la prolonge sans difficulté en terrain exposé, puisqu'on avance à l'abri. Mais il n'en va pas toujours de même. Souvent la tranchée est commencée en position exposée, ou à peine abritée. Des soldats ont pu, par bonds, arriver à une petite dépression, et, travaillant couchés, ils l'ont approfondie et agrandie, ce qui a permis à d'autres de les joindre et d'entreprendre alors une extension latérale du trou primitif, devenu ainsi l'amorce d'une tranchée. Pour bien faire, il faut ensuite établir un cheminement conduisant d'un point abrité jusqu'à la tranchée, pour assurer la sécurité de la relève et du ravitaillement. Il ne semble pas que cela se fasse toujours ni que, dans le trajet, nos soldats se gardent assez. Peut-être, d'ailleurs, y a-t-il des cas où le cheminement ne peut être établi. Rien de plus variable que les conditions et le terrain où se font les tranchées.

Autrefois, du temps des fusils et canons à faible portée, et des projectiles à faible pénétration, on avait d'autres procédés. Ils ne suffiraient plus. Ainsi on ne creusait pas le sol, mais on y plaçait des rangées de gabions farcis, de clayonnages pleins

de terre, sur plusieurs hauteurs, et on s'abritait derrière. Ou encore, à la place des gabions, on avait des sacs pleins de terre : c'était la sape volante. Elle rendrait encore des services : il ne faut pas tant de terre, ni surtout de sable, humide de préférence, pour arrêter la balle moderne ; mais l'artillerie est là qui la bousculerait impitoyablement. On s'en tient donc à la sape profonde avec parapet formé par la terre extraite, mise en sacs ou non, complété par des boucliers d'acier. Ceux-ci ne sont pas des ressuscités, d'ailleurs : le bouclier est resté en usage dans l'artillerie, pour protéger les servants. Et les mineurs l'ont employé à Andrinople.

Ce qu'on appelle la sape est simplement une tranchée d'attaque que pratiquent les troupes du génie en cheminant vers les fortifications ou les tranchées de l'adversaire, et dont le parapet ou talus extérieur se trouve garni, une fois l'ouvrage terminé, de gabions et de sacs à terre.

L'établissement des sapes constitue en quelque sorte le travail offensif élémentaire de l'arme du génie, d'où le nom de « sapeurs », sous lequel on désigne les soldats de ce corps.

La sape forme donc le prolongement des tranchées de première ligne dans la direction de l'ennemi, et sa construction, sous le feu, exige des précautions particulières. En raison du danger du travail, on y procède généralement de nuit.

La théorie du génie enseigne la façon d'opérer, qui comporte l'emploi du « gabion », sorte de grand panier cylindrique sans fond, que les soldats confectionnent eux-mêmes. Un premier sapeur, s'abritant derrière un gabion, creuse une excavation qui sera l'amorce de la sape ; il remplit le gabion avec la terre qu'il enlève, puis il en place

un second en prolongement du premier et ainsi de suite, à mesure qu'il avance. Les sapeurs qui le suivent approfondissent la sape, et ceux qui viennent ensuite lui donnent sa forme définitive. La ligne de gabions remplis de terre, ou « gabions farcis », se trouve ainsi prolongée pour former et soutenir le parapet de la tranchée dont on consolide encore l'épaulement, s'il y a lieu, à l'aide de sacs à terre.

On donne à la sape un tracé sinueux, afin de la « défiler » contre le tir de l'ennemi.

Quant aux abris où logent nos soldats quand ils ne tirent point sur l'ennemi, ce sont des excavations dans les parois de la tranchée même, excavations plus ou moins longues et profondes, dont le plafond est soutenu par des poutres et des planches. Elles ont été partout décrites et figurées.

Il est un point sur lequel nos tranchées actuelles diffèrent beaucoup des parallèles d'autrefois. Il a fallu les sectionner au moyen de traverses ou pare-éclats qui divisent chaque tranchée en un certain nombre de compartiments communicants, dont chacun reçoit de deux à quatre soldats. Ces compartiments ont été rendus nécessaires pour deux raisons. D'abord, si un obus vient à éclater dans la tranchée à traverses, le dégât est forcément limité au compartiment atteint : les traverses l'empêchent d'atteindre le reste de la tranchée. D'autre part, elles rendent un grand service en empêchant le tir en enfilade au fusil ou au canon. Elles fractionnent les risques, au cas où l'ennemi pourrait, à un moment, prendre la tranchée d'enfilade.

On a dit que l'ennemi avait des machines à creuser des tranchées. Sous cette forme, le fait n'est pas exact. Mais il y avait, et les Allemands

ont utilisé, en Belgique, des machines à excaver, des appareils locomobiles destinés à creuser des tranchées de canalisation d'eau, de gaz, et même des tranchées de chemins de fer et de canaux.

Ces excavateurs consistent essentiellement en une roue portant des couteaux en acier manganésé, qui fouillent et désagrègent le sol; des godets recueillent et jettent sur le côté les déblais. L'appareil serait économique; l'extraction du mètre cube de terre reviendrait à 5 centimes, même en sol dur. Il en existe divers types, donnant des tranchées ayant de 70 centimètres à $1^{m}22$ de largeur, et une profondeur maxima de $2^{m}25$. On conçoit les services que peut rendre pareil excavateur pour creuser des tranchées en arrière de la première ligne, pour une armée qui prévoit une retraite, et veut se ménager des lignes de défense. A distance du front cet appareil est utilisable et très pratique; mais, à l'avant, il ne vaudrait rien et serait vite démoli par l'artillerie.

La machine qui a été utilisée en Belgique — et capturée par les Alliés — est-elle allemande ou belge? En tout cas, elle est ingénieuse et utilisable à la guerre. Ce qu'on peut très bien utiliser aussi, — et on la trouve partout, — c'est la charrue; le commandant de Maud'huy, aux manœuvres de 1903, en préconisait l'emploi. Elle augmente dans les quatre cinquièmes la rapidité d'exécution. Mais, bien entendu, on ne peut l'utiliser qu'à l'abri, ou avant l'arrivée de l'ennemi.

L'emploi de la tranchée ne commença qu'en septembre 1914. Six semaines trop tard. Il semble qu'elle n'eût été nullement prévue. Et pourtant, on devait savoir les services qu'elle rend par ce qui s'était passé dans les Balkans... Le *Courrier de*

l'Allier du 19 février 1915 a publié, d'un de ses collaborateurs, une fort intéressante relation sur le début de la tranchée en 1914.

C'était au lendemain de la victoire de la Marne. L'ennemi s'était retiré hâtivement sur les hauteurs de Confrécourt en avant de Nouvron, dans le but de se reformer et d'utiliser, pour s'y tapir, les carrières importantes de la région. Nous nous trouvâmes dans l'obligation d'établir des positions solides, afin de résister mieux aux fréquentes attaques que, dans leur rage de se voir battus, les Boches prononçaient contre nos lignes.

Ce furent d'abord de simples petites tranchées de 60 à 80 centimètres de profondeur, avec la terre de déblai rejetée en avant. Nous étions là par tous les temps, dans la boue, dans l'eau même, tiraillant sans cesse par-dessus bord, courbant le dos sous les rafales d'obus. La nuit venue, quelques-uns d'entre nous partaient vers une meule lointaine et en rapportaient quelques bottes de paille, souvent de blé non battu. On y risquait sa vie, car les balles, certains jours surtout, sifflaient sans relâche. Il en était de même des corvées de vivres, de la soupe, que nous allions chercher en arrière, à un petit bois voisin. Le plus souvent, les vivres qui montaient à dos de mulet jusqu'au point de distribution n'étaient pas arrivés, et pour cause... Les chemins, défoncés par notre artillerie et par les trous d'obus allemands, étaient impraticables. Enfin, en courant à travers champs, sous les balles, les hommes de corvée, quand ils ne tombaient pas, blessés, renversaient les marmites ou le plat de rata et de bidoche, en sorte qu'il fallait s'armer de patience pour attendre le lendemain. Il est vrai que les biscuits étaient là. Alors les plus affamés en rongeaient quelques-uns.

Toutes les corvées sont faites la nuit et, avant que l'aube apparaisse, chacun a soin de prendre ses précautions, en ce qui concerne les besoins personnels. Mais, hélas! nous souffrons presque tous d'une diarrhée opiniâtre. Tant pis! il faut sortir...

Plus tard, nous eûmes des water-closets, faits d'une petite tranchée établie perpendiculairement à la principale et d'un trou. Plus tard encore, après plusieurs contre-attaques brillantes autour de Confrécourt, qui consolidèrent nos positions, nous songeâmes enfin à nous abriter. Chaque nuit donc, des ombres déambulèrent à travers le champ de bataille à la recherche de bois, de feuillages, de paille.

Les mois passent. Nous nous installons de mieux en mieux. Maintenant, avec nos petites pelles, nous creusons des sortes de fours dans lesquels nous nous blottissons à la moindre rafale d'artillerie. Quelques-uns même creusent de petites étagères où ils placent leur gamelle, la pipe et le paquet de tabac... quand il y en a.

Bientôt les boyaux de communication de tranchée à tranchée apparaissent. Mais, certaines nuits, nous allons encore en terrain découvert creuser de nouvelles tranchées en avant. Je me souviens d'un soir terrible où l'on nous ordonna de nous porter en avant afin d'établir une nouvelle tranchée.

Dix centimètres de terre seulement, ensuite un sol inattaquable. Nos pelles-bêches et nos quelques petites pioches n'y peuvent grand'chose. Il faut, dans l'obscurité, chercher les interstices entre les pierres, faire des pesées, s'aider des ongles. Mais il le faut bien faire, et vite. A peine avons-nous une petite rigole de 25 centimètres de profondeur avec un peu de terre en avant qu'une fusillade arrive. Les balles sifflent avec rage. Il faut se terrer et attendre. Cependant le calme revient et nous reprenons notre travail dans la nuit noire.

A partir de ce moment, nous avançons avec plus de prudence.

Maintenant, nous avons des boyaux de circulation qui s'étendent presque jusqu'aux villages les plus voisins, en arrière, traversant les éteules, les champs de betteraves, vastes et nombreux, où gisent encore des sacs, des cartouchières, des casques, des débris de toutes sortes, et où, malgré la fusillade, chantent des perdrix.

Les hommes de corvée courent moins de risques qu'auparavant. La soupe arrive mieux, et la relève de nos premières lignes s'effectue aussi avec moins de danger.

Voici les pluies qui surviennent. Alors nous songeons à nous établir des abris plus solides. Chaque jour, des corvées nombreuses apportent de gros bois bruts, des plateaux même, voire du papier goudronné et des tôles ondulées. Mais ces abris sont trop étroits et, pendant les quelques heures que nous y passons, nous demeurons assis, serrés les uns contre les autres.

Les créneaux pratiqués dans le contrefort de la tranchée ne sont plus les mêmes qu'autrefois. Nous nous servons maintenant de sacs remplis de terre et de créneaux en planches construits par le génie. Malgré ces dispositions nouvelles, les jours de grandes pluies nos créneaux s'écrou-

lent, s'obstruent et, en certains endroits, glissent dans la tranchée. Alors, toute la nuit, pendant que nos sentinelles veillent, nous travaillons, les pieds dans l'eau, dans la boue molle, à réparer le dommage. Mais que de difficultés ! L'eau qui ne peut s'écouler s'assemble en de grandes flaques dans lesquelles bon gré, mal gré, il faut patauger. Alors, autre trouvaille : nous creusons quelques puisards; mais, hélas ! ces trous sont vite remplis, et nous voilà encore dans l'eau.

Au début, les tranchées n'avaient pas de parapets ni de réseaux de fil de fer barbelé. On a commencé par faire des tranchées permettant aux troupes qui les occupaient de sortir vite pour faire un bond en avant. L'idée de multiplier les obstacles au front des tranchées ne s'est développée que progressivement, et ces obstacles, pendant longtemps restèrent tels que le shrapnel pouvait généralement en avoir raison. C'est ainsi qu'à Neuve-Chapelle notre artillerie fut extraordinairement efficace, bien qu'elle ne lançât guère que des obus à shrapnel.

Les premières tranchées de septembre 1914 n'étaient que des sillons, des trous allongés où l'on pouvait s'abriter un temps, mais non s'installer. C'est quand on vit qu'il fallait s'installer qu'on les aménagea et développa. Au printemps, pour empêcher l'ennemi de les repérer trop aisément, — en Champagne particulièrement, où les déblais accumulés en avant étaient surtout de la craie, — nos poilus eurent l'idée de tapisser ceux-ci de végétation. Le sol crayeux marquait les lignes d'un trait blanc. Un jour, un malin sema des graines de moutarde, et le rebord des tranchées se couvrit rapidement d'un rebord feuillu. L'idée, si pratique, fit fortune, se répandit comme une

traînée de poudre, et toute la Champagne crayeuse fut, en un clin d'œil, emmoutardée.

Les dimensions des tranchées varient beaucoup : 1 mètre de large sur 2 de profondeur est une mesure très courante. Mais celle-ci varie sensiblement selon les conditions.

Autant que possible on cache la tranchée à l'artillerie ennemie. A la tranchée ennemie, c'est impossible : on est trop près. Si, par endroits, on est à 200 ou 100 mètres de distance, ailleurs on est à 50, 30 mètres ; moins encore, au contact... Voici ce qu'un correspondant du *Petit Marseillais* raconte : les choses se passent du côté du bois Bolante, en mars.

Ici, nous ne sommes ni à 100, ni à 50, ni à 20, ni à 10 mètres. Pas même à 1 mètre : à zéro mètre, ou plus exactement à 85 centimètres, largeur d'une double pile de sacs de terre !

Voici comment cela s'était passé :

Nous avions occupé la moitié de la tranchée au cours d'une contre-attaque. L'autre moitié, cuirassée de plaques de tôle et défendue par deux mitrailleuses, était restée aux mains de l'ennemi. Tant bien que mal on avait séparé les deux positions par des sacs de terre.

Et voilà !

Point banale, oh ! non, la façon dont avait été effectué le travail. Le sergent du génie qui en avait été chargé s'était glissé, au petit matin, à l'intersection des deux lignes, suivi d'une dizaine d'hommes à la file indienne. De main à main, les sacs passaient, et le sergent les empilait l'un sur l'autre.

Rassuré par le silence qui régnait du côté adverse, il en était venu à ne plus penser qu'à sa besogne, et son mur s'élevait déjà à près d'un mètre quand, coup de théâtre, il se trouva soudain nez à nez avec un Boche qui, lui aussi, portait un sac de terre et qui s'en venait barrer la frontière lui aussi.

Un moment d'hésitation. Que faire ? Demander un fusil à

l'arrière? Le Boche avait dix fois le temps de s'enfuir. Et puis le moment n'était pas venu d'une offensive. Alors?...

Alors le sergent sourit au Boche!

Et que fit le Boche?

Il répondit par un sourire!

Et tous les deux, chacun de leur côté, continuèrent leur tâche!

Et cela dura jusqu'à ce que les deux tas fussent empilés et alignés jusque par-dessus hauteur d'homme!

Mais alors, oh! la belle musique de bombes et de grenades, et comme on se dépêcha, de part et d'autre, de rattraper le temps perdu!

Donc, Français et Allemands se trouvaient tous ensemble dans cette tranchée à moins d'un mètre les uns des autres. Par-dessus le mur, dans les instants d'accalmie, on pouvait entendre les Allemands mâcher leur paille. Parfois même, ils nous envoyaient des papiers écrits en français d'outre-Rhin, et dans lesquels ils nous exhortaient à nous rendre — dans notre intérêt — pour venir goûter aux douceurs d'une villégiature en Allemagne.

Les Boches sont prodigues de ces exhortations.

Face à l'ennemi, au-devant de la tranchée, on a accumulé de la terre, telle quelle ou en sacs, ou dans des paniers; on met des troncs d'arbres aussi, de tout, pour former un parapet. Et dans ce parapet sont aménagés des créneaux, de minces fentes dans des boucliers de métal, pour regarder, et tirer.

En arrière on creuse d'autres tranchées de soutien, de refuge, pour le cas où il faudrait évacuer les premières, de façon à maintenir la résistance : ce sont les tranchées de deuxième, de troisième ligne. Il y a des endroits, et beaucoup, où les tranchées sont préparées sur plusieurs kilomètres de profondeur.

On s'observe de tranchée à tranchée, en première ligne surtout, dans la mesure du possible.

« Afin d'observer l'ennemi, dit M. B. de L. écri-

vant de Cambrin en mai, ou, plus exactement, ses créneaux, l'emploi du périscope de tranchées s'impose ; mais comme, par sa mobilité, il est vite

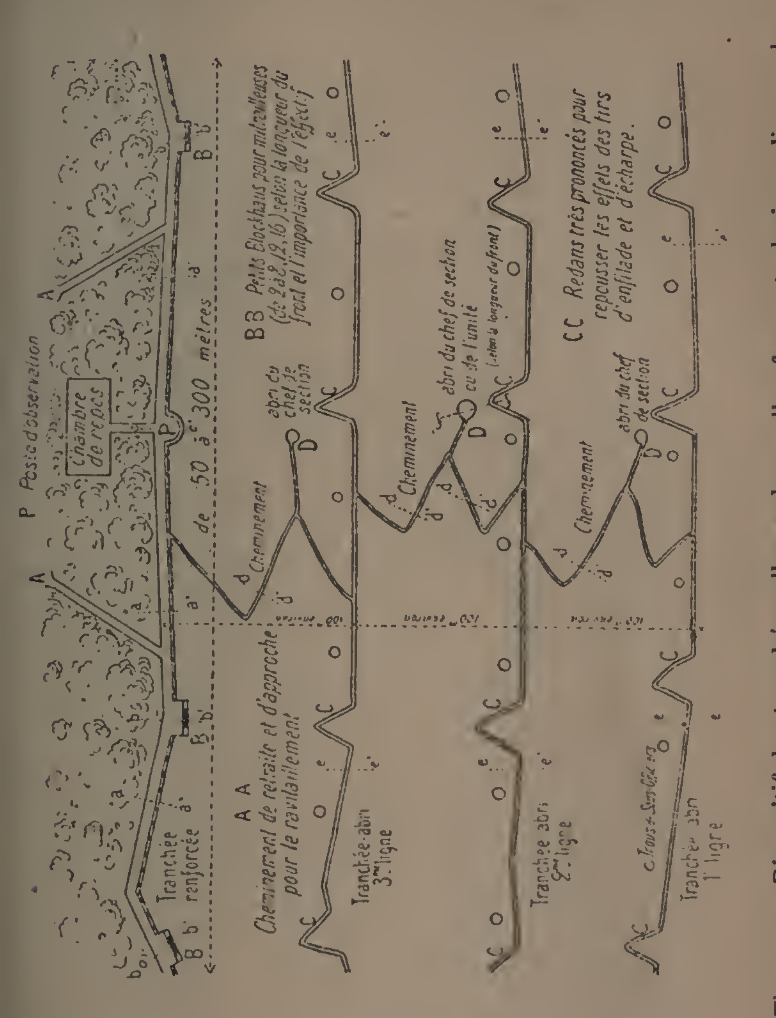


Fig. 2. — Dispositif des tranchées allemandes : elles forment plusieurs lignes plus ou moins parallèles, raccordées par des cheminements. S'il faut abandonner les premières, on se réfugie dans les secondes, et ainsi de suite.

repéré par les observateurs ennemis et souvent brisé d'une balle, on le remplace plus avantageusement par un simple morceau de glace de miroir fixé sur l'épaulement arrière des tranchées, à l'aide

d'une baguette fendue plantée dans le sol, à une hauteur convenable pour que les divers créneaux ennemis y soient reflétés.

« Malgré toutes ces précautions, il arrive malheureusement trop souvent que le tireur ayant remarqué, à l'aide de sa glace, un créneau ennemi lui paraissant abriter un adversaire, ne manœuvre pas assez rapidement pour viser, tirer et remettre son bloc de fermeture [1] en place, et qu'il tombe frappé mortellement presque toujours, puisque atteint à la tête. Nous avons même vu tuer net un de nos camarades lisant tranquillement, dans la tranchée, une lettre de sa femme qu'il venait de recevoir ; la balle avait fait un ricochet sur la partie supérieure d'un de nos créneaux d'acier et, plongeant ensuite, était venue frapper le malheureux en pleine poitrine. C'est là, il faut l'avouer, un fait assez rare, mais il y a tant d'autres projectiles à redouter sans les balles (bombes à main, crapouillots, etc., sans parler des obus), que je relate ces faits pour montrer combien, à une si proche promiscuité de l'ennemi, l'accident est possible, et qu'il faut constamment s'y attendre.

« La nuit, les créneaux sont débouchés, mais il est encore prudent de ne pas tirer plus de trois cartouches à la suite, car le jet de flammes serait vite repéré et lui aussi servirait d'objectif, car si la difficulté de viser la nuit existe pour des tireurs en marche, elle est bien moindre pour des observateurs immobiles, patients, tenaces, tels que l'Allemand qui, le plus souvent, braque son arme pendant la journée, la pointe juste, la fixe et n'a plus qu'à

---

(1) Bloc en bois, une bûche dégrossie et taillée à la forme voulue, en gros coin.

tirer lorsqu'il s'aperçoit que le créneau visé préalablement est occupé. »

C'est ainsi qu'ont été blessés les généraux Maunoury et de Villaret. Beaucoup de combattants ont été tués aussi, par des balles perdues, ou par des balles très habilement tirées au contraire.

Le créneau sert non seulement au tireur, mais encore à l'observateur. Il y a bien le périscope de tranchée, — et, certain jour, le général Maunoury en eut un brisé dans ses mains par une balle, — mais c'est un appareil de luxe, un appareil rare. Alors on observe constamment par le créneau.

Ce qu'on aperçoit par le créneau? A la fois beaucoup et peu de choses, dit le lieutenant Z... dans la *République de l'Isère*. Cette guerre est la guerre où l'on ne voit rien. Il m'est arrivé d'observer pendant plusieurs heures une zone où je savais blottis deux régiments allemands, sans que rien ne décelât leur présence. C'est un des phénomènes les plus curieux de cette guerre que l'invisibilité presque absolue des combattants. Quand la fusillade s'interrompt, quand la canonnade fait trêve, l'effet de solitude est extraordinaire. Remarquez qu'il en fut ainsi fréquemment pendant la guerre en rase campagne. Plaignons les peintres de batailles!

Du créneau, on assiste quelquefois au bouleversement des tranchées ennemies par le tir de notre artillerie. Tout saute, tout vole; et le nuage produit par les éclatements est teinté de rouge.

Il y a des spectacles gais, par exemple quand l'ennemi, pour nous rendre la pareille, s'acharne sur de fausses batteries où nos artilleurs ont si adroitement disposé des troncs de bouleaux qu'il les prend pour des « 75 ».

Il y a des spectacles tristes. J'aurai longtemps devant les yeux le cadavre de ce caporal tué au cours d'une patrouille, presque à hauteur des réseaux ennemis: il avait été frappé à genoux, son fusil épaulé et il était demeuré dans cette position, maintenu par le pli de terrain auquel il s'appuyait. Tout ce qui était humainement possible pour rapporter le cadavre fut fait; on s'y essaya trois nuits de suite, mais l'ennemi avait établi un barrage de feux. Pour éviter des pertes graves, le commandement interdit toute tentative

nouvelle, et nous vîmes le cadavre s'affaisser lentement, lentement, jusqu'au jour où les Allemands se décidèrent à l'inhumer.

Ce qu'on voit encore par le créneau? Beaucoup de choses qu'un observateur superficiel ne remarquerait pas : un petit terrassement, d'abord imperceptible comme une rainure et qui, chaque matin, se trouve élargi par les pelletées de terre jetées pendant la nuit, quelques mètres ajoutés au réseau de fil de fer, que sais-je? Toutes modifications que l'on suit avec un intérêt passionné, chaque escouade ayant en face d'elle ses « Dardanelles » et son « Przemysl ».

D'ailleurs, quelle erreur de croire que l'horizon soit limité par les dix centimètres carrés de l'ouverture du créneau! Par cette petite lucarne on a de larges aperçus sur le monde : on voit loin, on voit profond, même quand les paupières s'appesantissent, fatiguées par la veille récente. La dure réalité éclaire le passé, et la véritable proportion des hommes et des choses apparaît mieux. L'essentiel se détache en pleine lumière, rejetant dans l'ombre et l'oubli toutes les vétilles, toutes les mesquineries qui, hier encore, nous préoccupaient. On voit cela pour soi, pour son âme : on le voit pour le Pays.

Je ne veux pas médire de l'esprit de l'arrière : il en est un excellent d'où nous vient le réconfort; mais il en est un autre déplorable et qui nous scandalise quand il ne nous fait pas sourire. Qu'il y ait encore des Français qui refusent aux autres la justice, qui poursuivent leurs anciennes querelles, qui continuent, dans l'atmosphère factice des cabinets de travail ou des parlottes, à satisfaire leur vanité ou leurs rancunes, à construire des théories, à développer des systèmes, à rédiger des palmarès amicaux, voilà qui est inconcevable. Il faut que la race des cuistres soit immortelle pour survivre à de tels ébranlements! Il est vrai qu'elle risque peu.

Il y a temps pour tout. L'heure n'est favorable ni à la parole ni à l'écriture. Même de beaux articles signés de noms appréciés nous laissent froids. Est-ce leur faute ou la nôtre? Le diapason n'est pas le même. Les événements parlent si haut que leur voix couvre toutes les autres : seule l'action rend un son qui touche les âmes.

Et puis, cette fois, on ne fera pas l'opinion avec du papier. Elle est en train de se préparer, l'opinion de demain, dans les tranchées où se paie notre rançon et où s'opère le grand travail de la reconstitution nationale.

Ce qu'on voit par le créneau ?

— Ceci.

La nuit, pendant les longues heures de garde, dans le ciel clair ou brumeux, au-dessus des retranchements opposés, on voit passer des ombres qui ne sont pas celles des sentinelles ennemies : ombres des êtres chers sur le sommeil desquels on veille, minois de ces petits qu'il s'agit de préserver à tout jamais du retour d'un pareil cauchemar ; on voit se dresser la grande et sainte image de la Patrie pour laquelle on souffre, pour laquelle on mourra peut-être demain, peut-être cette nuit. Le rêve passe. Detaille n'avait déployé son envolée sublime qu'au-dessus d'un bivouac. Le rêve plane maintenant sur plus d'un million d'hommes, mur immense de poitrines qu'anime un même souffle et qui barre l'invasion depuis la mer du Nord jusqu'à l'Alsace. Tandis que des coups de feu retentissent là-bas dans nos lignes et que coule encore le sang français, ceux qui montent cette formidable faction suivent dans le ciel la chevauchée héroïque représentée par l'artiste, le défilé de nos vieilles gloires, la marche triomphante des Français, leurs pères. Et, par la pensée, les soldats de 1915 se précipitent à leur suite en une charge enragée, comme pour se dédommager de leur longue immobilité...

La vision s'achève en prière : que de ce rêve Dieu fasse bientôt une réalité.

Annexés aux tranchées, et creusés dans le sol, à bonne profondeur, à droite et à gauche, il y a les abris où l'on dort et se repose.

Mes hommes, écrit le lieutenant d'artillerie E. M..., du bois d'Ailly, en avril 1915, se sont creusé en terre des trous de 2 mètres de profondeur dans lesquels on descend par des marches. Ce trou a 4 mètres de long sur $1^{m}50$ de large. En utilisant des bateaux (2 lits superposés), ils couchent là quatre ou cinq et ont encore un espace de 3 mètres pour se tenir dans la journée. Ces abris sont recouverts de gros rondins, de terre et de tôle ondulée, munis d'une cheminée creusée dans la terre, ils offrent un refuge contre le froid, la pluie et les marmites boches. J'ai, moi, un véritable palais, un trou creusé dans le talus, au bord d'un chemin, 5 mètres de long sur $2^{m}20$ de large. Le toit se compose de gros

arbres, ensuite une rangée de traverses de chemin de fer, puis une rangée de tôle ondulée, puis encore 50 centimètres de terre avec rangée de gros arbres de 40 centimètres de diamètre et toujours et encore de la terre.

Le plancher est en bois. Les murs sont faits avec des planches. J'ai une fenêtre et une porte vitrées, face au Midi. Cette grande « cagna » est séparée en deux parties : dans le fond, une espèce d'alcôve de 2m 20 sur 2 mètres dans laquelle se trouve mon lit, un lit pliant avec draps, un lit dans lequel je peux coucher déshabillé, ce qui est un énorme confort; dans l'autre partie, qui sert de salle à manger, bureau, salon, fumoir, etc., se trouve une table, quatre chaises, un poêle, un téléphone et de nombreux porte-manteaux. Pour l'éclairage, une lampe à pétrole. J'ai aussi un water-closet avec siège en bois. Il n'y a pas le tout-à-l'égout, mais c'est déjà un vrai luxe sur le front.

Dans les pays forestiers et montagneux à la fois, ces abris se font en partie sous terre ou sous la roche, et sous troncs d'arbres recouverts de pierre et de terre. J'ai vu des villages entiers ainsi construits.

Les Boches ont fait des demeures souterraines tout aussi bien conditionnées. Un combattant écrit d'une de celles-ci enlevées à l'ennemi.

Je vous écris confortablement installé dans une hutte souterraine que l'on a enlevée aux Boches lors du fameux assaut du...

Elle a 5 mètres sur 7 et est couverte de troncs d'arbres et de terre épaisse. Le sol en est planchéié à moitié. Elle a été admirablement défoncée par quatre 75 dont j'ai retrouvé les culots sur place. J'y ai sauté avec deux hommes et l'ai déblayée et consolidée toute la journée.

J'y ai trouvé les paperasses des locataires précédents, les Herren leutnanten V..., W..., S..., W..., et, sur les débris de la porte, un insolent « Eintritt verboten ». Ces messieurs ne communiquaient avec leur personnel que par un guichet fermé à l'intérieur par un petit vantail. Ils ne voulaient pas être dérangés dans leur installation confortable : lits de sangle sur fils de fer, poêle ronflant (je puis l'affirmer) fauteuil pliant, fauteuil laqué, tabouret avec tapisserie, vase en cuivre art nouveau, — sans doute volé aux alentours —

deux chandeliers de cuivre, une grande glace du reste en miettes, tout un attirail de casseroles, deux tables de travail ; en somme, rien n'y manquait.

Ni M. S..., de Charlottenbourg, ni M. W..., de Cologne, ne détestaient les bonnes choses. J'ai trouvé tout un panier de bouteilles... vides naturellement, de bière Moninger, de Karlsruhe, doppelmärz (bigre! double de mars, c'était de saison); ils n'aimaient pas la bibine. Comme cigarettes, des Laurens, le « Khédive » de Wiesbaden (marque Scarabée) et, enfin, une pleine boîte de biscuits Palmers.

Ils ne détestaient point les impressions rares, car l'un d'eux lisait des nouvelles choisies d'Egard Poë; de circonstance, n'est-ce pas?

M. W... était pieux et avait un livre d'éducation catholique dont je traduis le titre : « En haut... Livre de prières ».

Comme documents, rien qu'un récit succinct de « l'échec général de l'offensive française en décembre », envoyé du Grand Quartier général allemand. Un atlas sommaire de la guerre édité à Leipzig « Kriegsatlas, 1914 » doublé d'une curieuse façon par un atlas Dupont, volé en passant à Vouziers, avec une délicate suscription : « Souvenir du pensionnat de jeunes filles Jeanne d'Arc, Vouziers, le 16 novembre 1914. Hôpital de guerre n° 1618 .»

Nos bons propriétaires semblaient avoir abandonné leur « cagna » pour une caverne creusée à 5 mètres sous terre, en demi-cercle, et munie d'une double sortie, où ils pouvaient braver même les 155.

L'assaut les a délogés.

En terrain demi-dur, la construction de la tranchée est facile ; dans le sable, c'est chose presque impossible, sans planches. Si le sol est dur, on a un personnel et un matériel spécial pour le creuser. Chez les Boches on a créé des compagnies spéciales dites « Arbeiter-Kompagnie », destinées à creuser des abris-cavernes dans le roc.

Ces abris-cavernes sont construits à l'aide de tarières ordinaires et au moyen de deux perforatrices rotatives actionnées par des moteurs à explosion, expédiés de Cologne, qui permettent de faire sauter le roc.

En bien des cas, enfin, on a fait sous terre non seulement des abris, des logements : on y a même établi de véritables forts. Tel était le cas pour le Labyrinthe, près de Neuville-Saint-Vaast.

C'était un système d'ouvrages souterrains et de tranchées formant, entre Neuville-Saint-Vaast et Écurie, un saillant de la ligne ennemie et occupant une position d'une remarquable puissance.

L'ennemi l'avait renforcé pendant des mois, le sentant exposé : d'où le dédale de blockhaus, d'abris, de tranchées et de boyaux, dont les avions nous avaient rapporté l'impressionnante image.

Orienté d'ouest à est, dans une sorte de cuvette, le « Labyrinthe » avait pour axes principaux deux chemins creux profonds d'où rayonnaient sur 2 kilomètres de côté des ouvrages de toutes sortes garnis de mitrailleuses et de lance-bombes.

Fin mai, on décida d'en finir avec cette position. Un jeune officier, qui y fut blessé, a donné à M. P. Chautard (*La Liberté*) les renseignements qui suivent.

La guerre de tranchées, me dit-il, n'est rien en comparaison de la lutte de boyaux que nous avons eu à soutenir pendant trois semaines. Imaginez-vous d'étroites galeries éclairées faiblement par de modestes lampes à huile dans lesquelles les adversaires ne sont séparés que par des sacs de sable qu'ils poussent les uns contre les autres. Dès qu'une ouverture apparaît, c'est un effroyable corps-à-corps, où la grenade à main et la baïonnette sont les seules armes possibles. Les Allemands, eux, font parfois usage de couteaux et de brownings même ; ils n'ont pas hésité, un jour, à nous arroser d'un liquide corrosif qui nous causa de graves brûlures, mais, en dépit de ces lâches procédés, les nôtres ont toujours eu le dessus, faisant preuve d'un merveilleux esprit d'initiative ; ils se battaient à coups de crosse, à coups de poing, quand il le fallait ; leur vaillance ne fut jamais en défaut et les Allemands s'en aperçurent.

Les couloirs dans lesquels nous avancions avaient 6 mètres de profondeur, parfois 8 et 10 ; l'eau suintait de partout et l'odeur fade qui se dégageait était insupportable. Songez aussi que, pendant ces trois semaines, nous n'avons pu enlever les cadavres, parmi lesquels nous avons séjourné nuit et jour. Un boyau de 60 mètres de longueur nous demanda treize jours de lutte incessante pour le conquérir entièrement. Les Allemands y avaient installé des barricades, des trappes, des pièges de toute sorte. Nous risquions en tombant de nous empaler sur des baïonnettes traîtreusement cachées dans des cavités légèrement recouvertes de terre. Et tout cela se faisait dans une obscurité presque complète. Nous devions nous servir de lampes électriques de poche et n'avancer qu'avec une extrême lenteur.

A tous nos soucis s'ajouta un autre sujet d'inquiétude. Un jour nous entendîmes distinctement un bruit significatif : l'ennemi poussait une sape pour nous faire sauter. Nos sapeurs, heureusement, éventèrent la mine et remédièrent au danger qui nous menaçait. Pendant toute cette période, nous n'avons pas aperçu une seule fois la lumière du jour, combattant sans cesse sous terre, ne prenant pas un instant de repos. Malgré ces souffrances, les hommes ne cessèrent de manifester une excellente humeur, un entrain splendide, une résistance extraordinaire. D'ailleurs, un officier allemand fait prisonnier le 16 au matin, pendant l'assaut final, ne put cacher son admiration : « Jamais je ne pensais, avoua-t-il, que vous prendriez le Labyrinthe : vraiment vous avez des soldats merveilleux ! » L'hommage de ce vaincu fut très agréable à nos poilus.

Les tranchées boches sont loin de le céder aux nôtres.

La crainte de l'artillerie française semble avoir été l'idée dominante de nos ennemis, dans la construction de celles-ci dont l'approche est défendue, on le sait, par des réseaux en ruban d'acier taillé en dents de scie tranchantes et pointues.

Très étroites, dit un correspondant du *Petit Parisien* qui parle de celles qu'il a visitées à Carency, si on les compare aux nôtres, elles sont également beaucoup plus sinueuses. Cette double disposition a pour but de les rendre plus invi-

sibles à l'œil sagace de nos artilleurs et d'éviter les effets du tir en enfilade.

Le front qui fait face à l'ennemi est consolidé et surélevé par des sacs remplis de sable. C'est dans l'interstice formé par quatre de ces sacs que sont ménagés les créneaux dont la disposition très ingénieuse mérite d'être signalée.

Ces créneaux sont constitués par des plaques d'acier bordant une petite fenêtre. Le soldat n'ouvre cette fenêtre que lorsqu'il veut tirer. De la sorte il n'a pas à redouter quand il se repose les balles qui pourraient passer par l'orifice du créneau. Les munitions sont soigneusement remisées dans de véritables armoires creusées dans la paroi de la tranchée et fermées par un solide battant de fer.

Les abris sont de deux sortes. Les uns sont de grandes niches plus ou moins bien étayées, dans lesquelles le combattant se réfugie lorsqu'il est surpris par un bombardement passager. Les autres sont beaucoup plus soigneusement construits : ce sont des chambres spacieuses extrêmement profondes qui permettent au soldat de se reposer en toute sécurité et qui lui fournissent une protection sérieuse contre l'artillerie.

La tranchée communique avec la chambre de repos par un puits très étroit. Pour se rendre de l'une à l'autre, il faut au moyen d'une échelle descendre d'environ 2 ou 3 mètres.

Ces chambres, très vastes et bien étayées par de solides madriers, sont amplement pourvues de meubles volés dans les villages avoisinants, et le long des parois des couchettes sont aménagées les unes au-dessus des autres comme dans les navires.

Dans les abris annexés aux tranchées, les Boches se sont fait de véritables appartements, avec lits, fauteuils, tables, glaces, lampes à suspension, pendules (naturellement), pianos, armoires à glace, livres, atlas, provisions, tabac, bière, tout cela volé, bien entendu, dans les environs. Ces abris sont creusés à profondeur variable, il en est qui sont à plus de 6 mètres sous terre, à l'abri des obus de 155.

De tout cela on ne voit rien extérieurement, cela va de soi. Ce qu'on aperçoit, « un mobilisé »

le raconte en ces termes dans la *République de l'Isère :*

Un camarade me dit :

— Il fait beau : venez, je vais vous montrer la tranchée des Boches !...

Nous montons à son observatoire, et il me fait aussitôt les honneurs de sa lunette.

— Tenez, là, à gauche, en avant de ce village, cette ligne qui apparaît comme un sillon creusé dans le champ, c'est leur tranchée... En arrière, ces deux rigoles qui semblent se perdre dans la terre labourée, ce sont leurs boyaux de communication... Et, à l'angle du bois, ce léger renflement qui a tout juste l'épaisseur d'une motte, c'est leur abri de mitrailleuse...

Mon camarade a débité ça tout d'une haleine. La plaine immense, qui s'étend à nos pieds, n'a plus pour lui de secret. Il a tellement fouillé du regard chacun de ses replis, depuis des semaines et des semaines, qu'un caillou ne peut changer de place sans qu'il le remarque. Chaque buisson, chaque tas de sable lui est familier. Une branche en moins à un arbre lui apparaît comme un vide énorme.

Et moi, j'approche mon œil de la lunette.

C'est vrai que voilà bien, à 100 mètres devant le village, une ligne de tranchée. Je la vois aussi nettement que si elle était à quelques pas. Je peux mesurer l'épaisseur de terre formée par le parapet, distinguer le réseau de fils de fer courant le long du sol, compter le nombre des pare-éclats, et surtout apercevoir, dissimulées dans l'ombre du bois, la saillie gazonnée mince et la place derrière laquelle se cache certainement la mitrailleuse — la terrible mitrailleuse qui, avec quatre hommes, suffit à faucher l'élan d'un bataillon.

Et il y a déjà quelque chose d'impressionnant à regarder cette longue ligne qui coupe en deux la plaine et s'enfonce jusqu'à l'horizon, cette ligne silencieuse et morne où rien ne bouge, où rien n'apparaît, et derrière laquelle ils sont tapis, derrière laquelle ils se cachent, derrière laquelle eux aussi peut-être nous guettent à cette heure...

Mais, plus impressionnant encore est le village qui nous appartenait hier, qui nous appartiendra demain, mais qui leur appartient aujourd'hui... J'en distingue les moindres détails : le clocher fendu comme par un coup de hache, la toiture gondolée et crevée de l'église, les maisons toutes

blanches avec leurs fenêtres grandes ouvertes, les cours de fermes avec les carrés de fumier... Tout cela aussi est désert et mort. Pas le plus léger indice qu'un être humain habite ces murs, marche dans ces rues. Pas le plus petit tressaillement de vie. C'est l'immobilité glacée du sépulcre. Et pourtant, ils sont là. Ils sont dans les caves, ils sont dans les maisons, ils sont sous le pavé des rues. Mais c'est leur force qu'ils peuvent se terrer pendant des mois, qu'ils peuvent rester sans bouger, sans parler, sans fumer, qu'ils peuvent contrefaire les cadavres...

Du moins il en est ainsi tant qu'il ne se passe rien, et que l'on se contente de s'observer, cachés derrière les sacs ou les créneaux. De s'observer ou de s'écouter, car si quelques mètres seulement séparent les deux lignes, on entend parler.

« Nous les entendons, ces fauves. La nuit, ils parlent à voix basse et marchent sur la pointe du pied. Le jour leur donne de l'assurance. Ils ne craignent plus d'élever la voix ; celle des gradés se distingue par son ton bref et sans réplique : les hommes ont une humble voix soumise d'enfant pris en faute.

« Mais si on entend assez souvent parler nos voisins, on ne les entend jamais rire. »

La vie de la tranchée est très variée et les besogues ne manquent pas. On est souvent, la nuit, de la corvée des « hommes-fils de fer ». On appelle ainsi dans chaque régiment faisant la guerre de tranchée, les soldats formant une section de génie auxiliaire et ayant pour mission la pose de fils de fer barbelés en avant des positions occupées par leurs camarades.

Un témoin signale particulièrement l'héroïsme des hommes-fils de fer d'un régiment territorial d'infanterie de Normandie :

Il faut, dit-il, voir tous les soirs au crépuscule cette poi-

gnée de braves sortir des boyaux de communication et se mettre à enfoncer des pieux sur lesquels d'autres fixeront en croisillons impénétrables les fils de fer destinés à former un obstacle infranchissable pour l'ennemi. Tout cet ouvrage se poursuit méthodiquement et, en voyant au jour ces travaux, on a peine à croire qu'ils ont été accomplis même par les nuits les plus épaisses.

C'est que tous ces hommes, qui ont de quarante à quarante-cinq ans et sont pères de famille, exécutent leur tâche avec une conscience et un sang-froid dignes d'éloges. Pourtant ils n'ont aucune tranchée pour les protéger, et il arrive souvent que pendant que l'un d'eux étend son fil, une balle arrive et le coupe en deux. Le territorial alors, sans s'émouvoir, rattache les deux bouts et continue sa besogne.

De jour on se lance des grenades, des engins explosifs variés. Un témoin (*Information*) raconte comment les choses se passent :

Placés dans des tranchées parallèles, à 100 mètres de l'ennemi, les Allemands s'efforcent d'approcher leurs adversaires sans danger, et creusent, dans le sol, à une extrémité de leur tranchée, suivant un angle déterminé. Les Français agissent de même, si bien que, à un moment donné, les lignes creusées de part et d'autre tendent à se rejoindre. Alors, elles redeviennent parallèles, et les combattants ont ainsi gagné une quarantaine de mètres chacun sans perdre un homme.

Mais, à 15 mètres de l'ennemi, il ne faut plus songer à montrer fût-ce le sommet du crâne : à cette courte distance, les pires tireurs ne manquent pas leur coup. Alors, on en revient insensiblement aux procédés classiques de la guerre de siège.

En attendant d'utiliser la poix et l'huile bouillantes, les Allemands se servent de projectiles allongés, d'environ 5 centimètres de diamètre et 15 centimètres de long. Ces sortes de grenades munies d'une courte mèche, sont lancées dans les tranchées ennemies soit à la main, soit, lorsque la distance est plus grande, à l'aide d'un appareil spécial, — probablement à ressort, — car l'on n'entend aucune détonation au départ.

Nos soldats, qui manquent de grenades, ne manquent pas d'ingéniosité : ils se sont mis à fabriquer des projectiles

analogues et qui sont, paraît-il, d'une efficacité remarquable. Toutes les boîtes de conserves — bœuf, sardines, thon, foie gras — après avoir été naturellement délestées de leur savoureux contenu, sont bourrées de pétards, de dynamite, de pierres ramassées dans les tranchées, de vieux clous, de balles de shrapnel. La mèche, constituée par un cordon Bickford, est fort courte : elle ne doit pas brûler plus de cinq ou six secondes, car, autrement, les Allemands auraient le temps de renvoyer le projectile avant qu'il éclate.

Le tout, bien serré, ficelé à la diable, a un aspect peu guerrier, certes, mais il produit des effets terribles.

Dès la mèche allumée, la petite marmite est rapidement et adroitement projetée hors de la tranchée, et va généralement tomber en plein dans le terrier ennemi, où elle éclate avec un épouvantable fracas, semant partout sa mitraille. Il est bien rare que, à ce moment, quelques Boches affolés ne laissent passer un bout d'oreille ou de nez au-dessus du sol, et nos tireurs embusqués n'attendent que cette occasion pour faire mouche.

Il y a des soldats qui sont particulièrement experts à ce jeu, par exemple celui qui, dans l'Est, avait reçu le surnom de « Sergent Grenades », et dont a parlé le *Petit Parisien.*

Actif et intelligent, le sergent Z... s'était vu confier par son capitaine le soin d'enseigner aux soldats comment on lance une grenade. Il avait acquis en cet art une dextérité que nul n'égalait. Aussi quand il se trouvait dans une tranchée de première ligne, employait-il tout son temps à lancer lui-même les projectiles sur les ennemis. Sa main était si sûre que presque à chaque fois un cri rauque de bête touchée se faisait entendre. Malheur au Boche qui signalait sa présence ; une grenade lui tombait sur le crâne !

Il en arriva à utiliser non seulement les grenades dont il disposait personnellement, mais aussi celles que ses hommes possédaient. Ne valait-il pas mieux que toutes fussent lancées par une main habile que de risquer l'inefficacité d'un grand nombre ?

Afin de lui laisser tout son temps pour exercer son art de « grenadier », son capitaine lui enleva le commandement de sa demi-section. Grâce à cette décision, le sergent « Gre-

nades » a battu tous les records, tant pour la quantité de grenades lancées, que pour le nombre de buts atteints !

Au cours d'un des récents combats, une balle allemande lui traversa le bras gauche. « Les Boches ont respecté mon bras droit, déclare-t-il. Tant mieux, dès ma guérison, je pourrai recommencer à les arroser de grenades ! »

On ne se bat pas seulement à coups de grenades : il y a les attaques en règle, avec sortie de la tranchée.

Voici comment un correspondant de la *Dépêche de Toulouse* raconte une attaque boche :

Voilà, raconte un témoin, voilà que dans l'après-midi du deuxième jour, l'ennemi a l'air de vouloir sortir de sa torpeur. On ne peut montrer le bout du nez à un créneau, sans être aussitôt salué par une fusillade nourrie. Les balles sifflent, chantent, miaulent, piaillent, ronronnent. En avant de nous, elles tombent drues comme des gouttes de pluie. Est-ce que les Boches voudraient attaquer, par hasard ? Tant mieux, alors. On va s'amuser un brin. L'artillerie entre en danse, faisant le plus formidable bacchanal qui se puisse rêver. Obus de campagne de 77 et grosses marmites de tous calibres pleuvent en avant de nous sur la zone que les éclatements font ressembler au Sahara, lorsque le simoun fait valser le sable en hauts tourbillons jaunes. Un ordre arrive : « Quoi que l'on voie, défense de bouger, défense de quitter la tranchée. » C'est aussi bref que catégorique ; il n'y a plus qu'à exécuter. L'ouragan de feu, de fer et de poussière redouble de violence, puis tout d'un coup, il s'apaise. Alors nous apercevons, venant vers nous, une de ces extraordinaires choses qui vous font croire rêver les yeux ouverts.

L'infanterie allemande s'avance en une masse si compacte qu'elle en est toute grise. Ses premiers rangs sont constitués par des hommes qui, le fusil sous l'aisselle, tiraillent en marchant, et qui poussent des « Hoch » gutturaux. Derrière ceux-là viennent des malheureux, complètement ivres sans doute, l'arme en bandoulière, se tenant coude à coude sous le bras, en chantant un air lugubre comme un *De Profundis*. — Les phalanges étrusques, aux rangs liés par des chaînes d'airain, se jetaient ainsi, autrefois, au plus épais de la mêlée. Baïonnette au canon, abrité par cette muraille hu-

maine qui se meut et va les protéger, jusque sur notre ligne, le gros de l'attaque progresse.

Je demandais de l'imprévu, eh bien! en voilà! Qu'allons-nous faire contre tous ces gueux, surtout vu l'ordre que nous avons reçu. C'est égal, c'est terriblement dur d'attendre dans de pareilles circonstances; mais, soudain, alors que les assaillants sont à la moitié de leur course, il se passe quelque chose d'indescriptible : des explosions qui éclatent très sèches, des hommes qui tombent, des quartiers de corps, des membres qui volent, des trous qui se produisent dans la masse grise arrêtée et oscillante, des remous qui se forment, des hurlements de terreur et de souffrance qui ont remplacé le chant lugubre. Cela dure une minute, peut-être même moins, et il ne reste plus que quelques fuyards regagnant leurs tranchées. Le 75 a fait son œuvre...

Le lendemain, dès le réveil, dans le petit jour qui grelotte, nous voyons arriver un grand vol de corbeaux. Il tournoie longuement, comme s'il hésitait, il croasse de 12 000 voix, puis attiré invinciblement par l'odeur du charnier, il s'abat sur le monceau de cadavres. Et il y a de nos oiseaux noirs qui sautillent de capote grise en capote grise, des becs qui claquent, qui taillent et qui piquent çà et là. C'est affreux, et, durant notre semaine de tranchée, chaque jour nous avons ce spectacle de hideuse curée.

L'attaque se fait de façons variées. Le plus souvent on la prépare par un bombardement intense des positions ennemies, effectué par l'artillerie, défilée en arrière. Il faut pointer très juste pour ne pas atteindre les tranchées amies... Ce bombardement sert à désorganiser le terrain et à rompre les réseaux de fils de fer en avant de celui-ci. Voici ce que raconte un Suisse qui a pris du service en France. Il s'agit de l'assaut de Neuville-Saint-Vaast.

A 3 heures du matin, nous sommes relevés par le bataillon C de notre régiment. Le grand jour est arrivé, l'attaque nous est annoncée; nous devons enlever d'abord de vive force ce que nous appelions les « ouvrages blancs », masse imposante de bastions et de tranchées creusés dans un sol

crayeux qui couronnait un labyrinthe blanchâtre; nous devons prendre ensuite les organisations de la route Arras-Béthune, et enfin les pentes retranchées de la Falaise de Vimy, dominant de plus de 30 mètres la plaine de Berthonval. Travail de géants s'il en est; mais le cœur ne nous manque pas à l'ouvrage; nous avons trop souffert tout l'hiver et trop vu de cruautés... Le matin, à 6 heures, le premier régiment étranger est placé dans la formation suivante : en première ligne dans les tranchées, le bataillon C; en deuxième ligne, le bataillon D et, enfin, en troisième ligne, le bataillon A. Ordre est donné de ne pas nous arrêter aux tranchées allemandes, de sauter par-dessus sans nous occuper des Boches qui peuvent encore s'y trouver. Le bataillon B est chargé du nettoyage des tranchées et de la destruction des Allemands qui s'y trouvent.

A 6 heures précises, l'artillerie placée derrière nous ouvre le feu et, jusqu'à 10 heures, ce ne sera plus qu'un immense roulement. En face de nous, tout n'est que feu et fumée, on dirait que des milliers de cratères s'entr'ouvrent au milieu des tranchées allemandes, et pendant quatre grandes heures, corps humains, sacs de terre, pierres, outils, fusils, mitrailleuses, tôles de blindage dansent dans les airs, jusqu'à 20 et 30 mètres de hauteur, une valse désordonnée et diabolique. Il faut avoir assisté à un tel spectacle pour pouvoir y croire et encore s'imagine-t-on, par moment, être endormi et faire un rêve épouvantable. Pendant que les Allemands reçoivent ainsi cette pluie infernale de fonte et de plomb, nous sommes, dans nos retranchements, en train de finir nos préparatifs. Aucune émotion apparente; sur toute la ligne, gaîté folle et plaisanteries plus folles encore; aucune appréhension du danger, et c'est ainsi que nous prenons, avant l'attaque, notre dernier repas qui devait bien être, hélas! pour beaucoup d'entre nous, le « dernier ». Nul n'y songe, l'impatience seule de partir de l'avant est notre plus grand souci, mais bientôt nous allons obtenir satisfaction.

A 10 heures, le signal de l'attaque est donné. En un élan superbe, malgré les balles qui sifflent, le bataillon C se lance sur les tranchées ennemies, tandis que les bataillons placés en arrière s'avancent chacun d'une ligne. Le moment est d'une beauté tragique, la ligne tout entière ondule suivant les accidents du terrain, progresse, mais ne brise pas. Les cris de : « Vive la France! » se font entendre et, parmi les bruits de la bataille, dominent les fiers accents de la *Marseillaise*. A leur tour, les deux bataillons D et A se ruent à

l'assaut, baïonnette au canon. Avec un entrain superbe, sans prendre garde aux nombreux camarades qui, blessés, se rendent à l'arrière, du côté du poste de secours, nous avançons. La première tranchée est loin derrière nous; la seconde, la troisième sont passées.

L'attaque se fait encore par surprise. La nuit de préférence : c'est ce qui se passe en particulier avec les « Français de couleur » des communiqués allemands, les courageux Sénégalais. Voici ce qu'en dit un soldat cité par M. G. Batault dans la *Gazette de Lausanne,* journal suisse qui s'est montré, avec le *Journal de Genève,* si ami de la France. Nous sommes dans le bois de Calonne :

Quelques jours après, une attaque plus importante est décidée, notre soldat n'y prend pas part, mais y assiste de près. On a amené pour cette opération deux régiments sénégalais, qui arrivent la nuit et se massent dans les tranchées en attendant le moment d'avancer. Il tombe une petite pluie fine, le terrain est gras et glissant, qu'importe? On marchera quand même. Vers 2 heures du matin, les noirs sortent des tranchées, pieds nus, la baïonnette entre les dents; des milliers d'hommes rampent comme des serpents et s'enfoncent dans la nuit. Ceux qui sont restés dans la tranchée les voient disparaître dans l'ombre, puis plus rien, le silence.

Les tranchées allemandes ne sont qu'à 100 mètres des positions françaises, et le temps passe, éternel, oppressant dans le calme de cette nuit humide et glaciale. On se penche, on écoute : rien, sinon de temps à autre un froissement léger, comme le bruit du vent dans les feuilles.

Une heure se passe, et toujours rien que le silence.

Ce n'est qu'au bout de deux heures qu'un coup de sifflet retentit et que d'un bond, avec un hurlement déchirant, les noirs se ruent dans la tranchée ennemie. Les Allemands, saisis, n'ont pas le temps de se reconnaître et sont submergés sous l'avalanche humaine; quelques coups de feu retentissent, mais se perdent parmi les cris sauvages des assaillants et les appels désespérés des vaincus.

Un officier racontera, au retour, que les Allemands, sur-

pris et terrorisés, pleuraient comme des enfants et tentaient de fuir, tandis que leurs officiers eux-mêmes, blancs de terreur, tiraient sur eux d'une main mal assurée pour les obliger à rester et à combattre. Un seul capitaine tua trois de ses hommes, jusqu'au moment où il fut lui-même transpercé d'un coup de baïonnette.

La tranchée reste enfin aux mains des assaillants qui ont exterminé les cinq cents occupants, ne perdant que cent hommes, grâce à la supériorité que leur donna la surprise.

Ce que les tranchées ont pu voir d'aventures fantastiques et terribles, ce qu'elles ont pu contempler de traits d'un admirable héroïsme, nul ne le saura jamais. Il en est tombé trop qui n'ont point dit avec quel élan merveilleux ils ont couru à la mort ; trop qui n'ont pu dire quels prodiges ils ont vus et accomplis.

On prend des distractions, on joue des farces à l'ennemi. Voici ce que raconte le commandant Y..., dans un journal de la Loire-Inférieure :

C'était un soir de mars. Par hasard, le temps avait été convenable et le soleil lui-même avait daigné se montrer. La journée avait été calme, quelques coups de canon. Au cantonnement, dans un village voisin, les poilus chargaient leurs sacs et les sergents rassemblaient leur section à la tombée de la nuit. C'était la relève qui, après six jours de repos, se préparait à retourner dans les tranchées. Frais et dispos, les hommes répondaient à l'appel quand un chien bien inoffensif vint à passer.

L'un d'eux l'attira par l'appât d'un morceau de pain, le caressa, puis déliant une courroie l'attacha. Le régiment se mit en marche, et le chien tenu en laisse suivit sans récalcitrer. N'était-il point aussi, lui, habitué aux soldats et, depuis des mois, ne vivait-il pas à leur ordinaire ?

On parvint aux boyaux conduisant aux tranchées. Les dos se courbèrent pour s'abriter et après une demi-heure de cette marche pénible, interrompue de temps en temps par l'éclatement d'un 77, on parvint aux tranchées. Le chien était toujours là aussi docile, et nul, à part celui qui l'avait amené, n'y prenait garde.

Pendant que ceux qui avaient séjourné là six jours allaient à leur tour jouir d'un repos bien gagné, les autres prenaient leur poste. Désigné comme sentinelle avancée, le poilu qui n'avait point lâché son chien, l'entraîna avec lui. La nuit était bien noire, pas de lune, pourtant au ciel brillaient les étoiles. Les projecteurs et les fusées avaient disparu depuis un moment déjà. L'heure semblait propice pour utiliser le fameux chien, lequel était loin de se rendre compte des terribles épreuves qui l'attendaient.

A la queue du cabot, en effet, fut attachée une boîte de « singe » vide, puis il fut lâché entre les deux tranchées. Comme il manifestait l'intention de rebrousser chemin, le poilu, qui avait son « idée », tira en l'air quelques coups de fusil. L'animal, de plus en plus effrayé, se précipita à toute vitesse sur les fils de fer des Boches.

En face, l'alerte fut rapidement donnée, il n'y avait aucun doute : une attaque française se préparait et on allait couper les fils de fer.

De plus en plus gêné, embarrassé et paralysé dans les défenses, le chien se démenait pendant que fusils et mitrailleuses entraient en action.

Bien à l'abri dans son trou, l'auteur de cette farce et son acolyte entendaient les commandements et les pas des renforts qui arrivaient par les boyaux voisins. Le chien, qui n'avait pas été atteint, continuait à se débattre. Chez les Boches, l'inquiétude grandissait et, sur un coup de téléphone, les canons, soigneusement pointés, ne tardaient pas à faire entendre leur grosse voix. Les obus tombèrent si copieusement jusqu'au jour, que les travaux de défense boches étaient complètement détruits. On juge de la fureur des intéressés et de leur déconvenue, quand ils constatèrent qu'ils avaient dérangé en pleine nuit 2.000 hommes et tiré quelques centaines de coups de canon pour un chien.

II

Passons aux mines, à ces galeries que l'on creuse dans le sol pour passer sous les ouvrages ennemis. Il y a beau jour que l'homme les connaît. Où en prit-il l'idée ? En tout cas son esprit inventif lui fit faire de rapides progrès. Sans doute, tout n'est pas de lui dans l'affaire. Il a dû copier, s'inspirer des méthodes des animaux et leur emprunter la galerie.

Est-ce la taupe qui lui donna des leçons ? ou bien le lapin ? Toujours est-il que, dès le début de l'époque romaine, en 430 avant l'ère chrétienne, d'après Tite-Live, Servilius, assiégeant les Étrusques dans Fidènes, ne trouva rien de mieux que de creuser, de son camp jusque sous la citadelle assiégée, une galerie souterraine par laquelle ses soldats débouchèrent au cœur de la ville dont ils s'emparèrent sans peine. Voilà un exemple de mine, de mine offensive.

Mais la mine défensive date aussi d'une époque reculée. Sous Philippe II de Macédoine, au quatrième siècle avant Jésus-Christ, la contre-mine était connue. On savait, si l'assiégeant poussait des mines ou galeries souterraines contre la ville, établir une contre-mine : un fossé profond, en avant des remparts, où l'on accumulait du bois. Dès que les mines des assiégeants arrivaient à ce fossé, on mettait le feu au bois, que l'on couvrait de mottes de gazon. De la sorte, la fumée, refoulée dans les galeries ennemies, asphyxiait les occupants. Certains capitaines y lâchaient des essaims d'abeilles, on dit même des ours et bêtes féroces,

— à Thémiscyre par exemple (68 ans avant Jésus Christ), — ou bien des choses malpropres ou incommodantes. A Apollonie, l'assiégé put repérer la direction des mines de l'assiégeant, et creusa des puits qui communiquaient avec elles, puits par lesquels il versa de l'eau et de la poix bouillantes, des vidanges et du sable rougi au feu.

Dès cette époque, le problème des écoutes était posé, et résolu. Le bruit des mineurs se propage à une certaine distance dans le sol : en écoutant, chaque parti peut se rendre compte de ce que fait l'autre, où il se trouve, à quelle distance, dans quelle direction. Durant le siège de Barcé, en Cyrénaïque, un chaudronnier imagina de faciliter leur besogne aux écouteurs, en leur donnant un bouclier d'airain qu'on posait sur le sol, pour l'employer à ausculter. Le son était renforcé, et on savait s'il y avait des mineurs dans le voisinage. Le service des écouteurs a conservé jusqu'au moment présent toute son importance, bien qu'on n'y utilise plus le bouclier d'airain.

L'épisode suivant, raconté par un correspondant du *Matin*, en juin 1915, est d'occurrence quotidienne. Il faut écouter pour savoir ce que fait l'ennemi, car à la mine il oppose la contre-mine, naturellement.

On travaille. De part et d'autre on panse les plaies de la journée : sacs éventrés par l'éclatement d'un obus, parapets écrasés par une mine. Fiévreusement, des deux côtés, des équipes réparent les brèches qu'ouvrira à nouveau le bombardement de demain.

Et, tout au long de la tranchée, ce sont maintenant les coups cadencés des pioches et le bruit de la terre que les pelles projettent.

Soudain, de chantier en chantier, un ordre court :

— Cessez le travail.

C'est l'heure de l'écoute.

L'écoute ! Heure impressionnante entre toutes dans cette guerre de mines, moment où l'on va tâcher de discerner l'avance sournoise des autres vers nous ; où l'on va, au bruit souterrain de leurs outils, déterminer leur marche, leurs projets, la minute, peut-être, où ils tenteront de nous faire exploser.

Dans cette guerre sans merci, ce n'est pas seulement du ciel sillonné d'obus que vient la mort ; ce n'est pas seulement à la surface du sol qu'elle rampe parmi le crépitement sec des mitrailleuses ; c'est encore là, à 12 ou 15 mètres du sol, qu'elle vous guette et traîtreusement vous frappe en pleine sécurité, parfois en pleine victoire.

La mine souterraine, la sape, c'est un peu pour nous ce qu'est le sous-marin à l'équipage du dreadnought !

— Venez !

Le lieutenant de génie qui, dans notre secteur, dirige, depuis de longues semaines, les travaux de sape et de contre-mine, m'entraîne à sa suite dans les méandres de la tranchée.

A nos pieds, sous un abri, un puits s'ouvre, sombre, profond, à l'haleine fétide. Un treuil le chevauche, où s'enroule un cordage qui remonte les seaux de terre et, au besoin, les cadavres. A côté ronfle un ventilateur. C'est l'entrée de la sape. L'orifice mesure 1 mètre de diamètre et, du haut en bas de la paroi, c'est-à-dire sur une profondeur de 15 mètres, court une échelle de corde que fixent, de distance en distance, des fils de fer.

Par cet escalier de fortune on ne peut descendre qu'un à un, et encore faut-il que les mains se cramponnent fortement, tandis que les pieds mal assurés recherchent les échelons inégaux.

A côté du lieutenant, me voilà maintenant au fond de la mine.

Dans la galerie qu'éclairent faiblement des lampes à huile, les hommes attendent, l'outil au poing, et ils écoutent.

Ils écoutent, à travers cette terre, les coups sourds et rythmés des pioches et des pelles, tous les bruits que fidèlement elle leur transmet et qui leur dévoilent le travail qui s'exécute et le danger qui vient.

A mon oreille, pourtant ardemment tendue, tous ces sons paraissent vides de sens, confus, lointains. Mais eux, les hommes d'écoute, ils savent.

Ils travaillent, murmure le lieutenant. Il n'y a point de

doute. *Ces gens* sont d'une admirable persévérance. Les voilà qui reprennent à pied d'œuvre une sape que nous leur avons, il y a quinze jours, complètement démolie. A ce moment, nous avancions à la contre-mine, c'est-à-dire non pas pour arriver jusqu'à leur tranchée, mais plutôt pour protéger la nôtre. A l'écoute, nous en avions eu la certitude, ils avançaient sur nous très rapidement. La direction exacte, la profondeur, à cause de certaines difficultés locales, nous ne pouvions les avoir très exactement. Malgré tout, on travaillait ferme, on travaillait avec, au cœur, ce sacré petit pincement qui vous prend lorsqu'on se demande : « Pourrons-nous, à temps, leur barrer la route ? »

Et cela, voyez-vous, la responsabilité de toutes ces vies humaines, cela vous fait le bras rudement fort et donne à votre oreille une incomparable finesse.

Nous n'avions plus le temps de passer en dessous, on décida de passer à côté. Ne pouvant les faire sauter de bas en haut, nous allions leur flanquer un « camouflet », c'est-à-dire, sacrifiant une partie de notre sape, écraser la leur.

On les entendait maintenant avec une prodigieuse netteté, on ne les entendait pas seulement travailler, on les entendait tousser. La victoire allait appartenir à celui qui, une minute avant l'autre, prendrait la décision suprême.

En ces moments dramatiques, je vous l'affirme, j'aurais voulu que vous pussiez voir mes hommes. Chaque coup de pioche qu'ils donnaient pouvait être le dernier, chaque seconde de retard pouvait être employée par l'ennemi à préparer sa mine; et c'est avec méthode, avec sérénité que tous ces hommes travaillaient.

Ce fut un magistral « camouflet ».

Ce mur que vous voyez, nous avons dû l'élever pour calfeutrer dans le boyau de sape les gaz délétères dont l'explosion l'avait empli. Malgré tous nos efforts, il se fait parfois des fissures et alors, comme l'autre jour, en dépit des ventilateurs, en dépit de toutes les précautions, c'est un pauvre « bonhomme » qui succombe. Il n'y a pas que vous, là-haut, qui ayez les gaz asphyxiants.

Les mines ne servaient pas seulement à pénétrer sous la ville, ou à contrebattre les galeries des assiégeants : on les employait encore à ouvrir la brèche. L'assiégeant les conduisait jusque sous la

muraille, puis les prolongeait en équerre, à droite et à gauche, en suivant celle-ci. Le travail consistait à saper les fondations et à remplacer une certaine épaisseur de pierres par des bois placés debout, soutenant le mur. Quand on en avait de la sorte sapé une bonne longueur, on mettait le feu aux étais, et la superstructure, privée de soutien, s'effondrait. L'assiégeant n'avait plus qu'à se ruer par la brèche. La méthode fut employée à Thèbes.

Remarquez que, de l'aveu de César, les Gaulois étaient fort experts aux mines souterraines, dont, dit-il, « le travail leur était familier, à cause des mines de fer dont leur pays abonde ». Et quand les Romains voulaient, à leur tour, creuser une mine, « les Gaulois l'éventaient, la remplissaient de pieux durcis au feu, de poix bouillante et de pierres pesantes ; ils arrêtaient ainsi nos mineurs et les empêchaient d'approcher des mines ».

La guerre souterraine se transforma naturellement, quand la poudre à canon lui donna des possibilités nouvelles et fort intéressantes ; on paraît avoir mis le temps à s'en apercevoir : deux cent cinquante ans environ. Ce n'est guère qu'après 1500 que la poudre a servi comme explosif dans la guerre de siège, entre les mains de Pierre de Navarre. Il s'agissait de réduire les forts de Naples. Le capitaine A. Genez, dans son très intéressant *Historique de la guerre souterraine* (Berger-Levrault, 1914), raconte comment Pierre de Navarre s'y prit. Il creusa des mines aboutissant sous l'enceinte de la citadelle, et les bourra de poudre. Après quoi, il somma les Français de se rendre sous peine d'être écrasés. Ceux-ci avaient bien entendu quelque bruit souterrain, mais n'y avaient pas pris autrement garde. Ils refusèrent avec mé-

pris. Pierre fit jouer ses mines; le mur s'effondra, et, par la brèche, l'assaillant se précipita. Toutefois, le château de l'Œuf tenait encore, perché sur un rocher presque détaché de la terre ferme. Une galerie fut poussée dessous et remplie de poudre. Le rocher se fendit, et les murailles tombèrent à l'eau; les assaillants n'eurent alors pas de peine à enlever ce qui restait des assiégés.

La gloire de Pierre de Navarre en fut beaucoup accrue. Il lui restait cependant quelque chose à apprendre, car à Bologne, en 1512, il lui arriva ce fait bizarre que ses mines en explosant firent simplement remonter la muraille comme un rideau, après quoi elle retomba en place, ayant laissé voir derrière elle « la ville et les soldats en bon ordre ». On cria au miracle. En réalité, il y avait eu erreur. Les mines avaient été placées trop exactement au-dessous du centre de gravité des murs. Le même fait se serait présenté, en 1795, à Fontarabie.

La mine explosive d'attaque devait provoquer l'apparition de la mine explosive de défense. Cela ne manqua point; au seizième siècle, elle fonctionnait déjà, par exemple au siège de Vienne par les Turcs, en 1529. On avait même eu l'idée des mines défensives chargées d'avance, des mines préparées en temps de paix sous les ouvrages défensifs qu'on pouvait être obligé d'abandonner. En les faisant jouer, une fois les troupes et l'armement retirés, et pendant que l'ennemi s'installait, on avait la satisfaction de tuer du monde à celui-ci et de lui enlever une position utile. C'est ce qui eut lieu à Padoue en 1509. Les Vénitiens durent abandonner un terrain où Allemands et Espagnols se précipitèrent. Mais, les mines préparées par les assiégés ayant joué, les assiégeants volèrent en l'air, faisant

ce que le chevalier de Ville appelait « le saut périlleux ». La méthode parut bonne, et le génie prit l'habitude d'établir une rangée de mines défensives en arrière du mur principal, entre lui et un second mur intérieur, qui y était parallèle.

Mines et contre-mines jouèrent un grand rôle au siège d'Ostende en 1601-1604. En fait, une grande partie de la guerre se passa sous terre. Les mineurs des deux armées se cherchaient pour ruiner l'ouvrage de l'adversaire et se rencontraient en corps-à-corps sanglants. Une galerie tout à coup s'ouvrait dans celle des ennemis et aussitôt on s'entre-tuait. « Il fut combattu sous terre à outrance, dit le chevalier de Bonours, voire avec telle obstination qu'il advint par deux fois qu'assiégeants et assiégés s'étaient entre-tués en assez bon nombre, sans qu'un seul fût resté vivant pour raconter le succès du combat; ainsi furent trouvés les corps gisants dans les cavités de la terre ainsi qu'ils étaient tombés, percés de diverses plaies. » On se battait dans l'obscurité, à la seule lueur des mousquets : « Ainsi à l'aveuglon on s'entre-donnait des coups orbes, sans se voir ni pouvoir juger à qui on avait affaire. Bien souvent le feu s'éprenait intempestivement à la poudre préparée pour les mines, ensevelissant tout vifs ceux qui s'entr'affrontaient dans ces grottes et cavernes artificielles, ainsi que lutons, et poussaient bien haut en air ceux que le sort faisait rencontrer dessus. »

De même à Arras en 1654 : on y voit le contre-mineur marchant sous terre à la rencontre du mineur, et s'efforçant de ruiner ses galeries. En fait, la pratique des mines était devenue à tel point répandue que le besoin d'une théorie, d'une codifi-

cation des méthodes et des procédés, s'était fait sentir. Le chevalier de Ville fut le premier à formuler un ensemble de règles, tant de l'attaque que de la défense par mines. Il établit une sorte de corps de doctrine d'où il résultait, d'après le poète Desmarets, qui appréciait les efforts impartialement tentés pour l'une et pour l'autre, « que l'on peut prendre tout, et qu'on ne peut rien prendre ».

Le chevalier de Ville insista sur la nécessité de bourrer les fourneaux, pour les empêcher de souffler dans la galerie et de la démolir; il indiqua une méthode ingénieuse de « puits à cascanes », moyen terme entre le puits simple et la descente par gradins, quand il fallait gagner en profondeur; il donna une méthode de contre-mines qui s'avançaient franchement hors de la place jusque dans la campagne, par un réseau de galeries creusées sous celles de l'assaillant.

Mais, c'est plus tard seulement que la science intervint dans la question des mines et y introduisit quelque méthode. Jusqu'au dix-septième siècle, la pratique des mines était chose essentiellement empirique; elle manquait de principes et de règles. Avec Vauban la situation changea. Il fit faire à Mesgrigny, un « mineur » dont le nom reste bien connu, des expériences sur la relation entre la charge de poudre et le volume des terres enlevées. Les résultats n'en furent toutefois pas interprétés de façon heureuse : on en déduisit entre autres choses cette conclusion, manifestement erronée, que l'augmentation de la charge n'augmente pas le rayon de l'entonnoir. L'homme qui devait corriger cette erreur, et qui, au dix-huitième siècle, a le plus fait pour l'art du mineur, fut Bernard Forest de Bélidor. On lui doit des expériences, restées mémo-

rables, qui furent faites à La Fère, en 1725. L'une d'elles consista à creuser quatre puits de profondeurs diverses (entre 3^m20 et 4^m16) aux quatre angles d'un quadrilatère formé de galeries en pente reliant entre eux ces puits. A l'intérieur du quadrilatère, on établit un fourneau de mine qui se trouvait à des distances différentes des galeries et des puits, et à 3^m20 sous le sol; celui-ci reçut une forte charge de poudre. L'explosion se produisit, et l'inspection de ses effets fit voir que les galeries étaient crevées jusqu'au quadruple de la ligne de moindre résistance (3^m20) et que le rayon de l'entonnoir croissait indiscutablement avec la charge de poudre.

Ce fut là une première expérience scientifique; bien d'autres ont suivi. Mais tandis que celle de Bélidor passait inaperçue et dédaignée en France, en Allemagne, on l'accueillait avec enthousiasme, on la répétait, on la vérifiait, on en faisait son profit. Combien de fois n'est-ce pas arrivé depuis!

Aujourd'hui, toute la technique des mines repose sur un ensemble d'expériences minutieusement conduites, et a été condensée en un certain nombre de formules et d'équations précises. Des ouvrages spéciaux, destinés aux mineurs, leur fournissent les données qui leur sont nécessaires et tous les renseignements utiles sur la façon de procéder selon les circonstances, le terrain, le but poursuivi.

Ce dernier est très variable.

On a employé les mines à ouvrir la brèche jusqu'à la Révolution, — et même ces dernières années, à Port-Arthur, au fort n° 11. Si l'opération a échoué, cela a tenu aux mitrailleuses russes contre lesquelles les assaillants, une fois dans la place, étaient sans défense. Jusqu'à l'époque où

l'artillerie a été dotée de canons puissants et à longue portée, les mines pouvaient faire plus que le canon, pour l'ouverture de la brèche, préface de l'assaut.

Elles ont été employées à la surveillance et à l'attaque des mines adverses. Telle fut leur utilisation à Tuyen-Quan par l'ingénieux et héroïque sergent Bobillot, dont l'histoire militaire a été fort bien racontée par M. Azibert dans les *Sièges célèbres*.

C'est un magnifique épisode. Ils ne sont pas 650, avec le commandant Dominé, et les Chinois sont 13.000. Bobillot, sous-officier du génie, devient d'office chef du génie de la place. Les Chinois font des mines. Ils ont de la poudre, Bobillot n'en a pas. « Faisons quand même des galeries, dit-il : elles serviront d'évents et diminueront les effets des explosions. » On en fait, on gagne du temps, on tient jusqu'au moment où, enfin, arrivent les troupes de secours.

Les mines servent, couramment, à détruire les mines de l'adversaire. L'un cherche l'autre sous le sol, s'arrêtant de travailler, par intervalles, pour se mettre aux écoutes, et juger à quelle distance se trouve la galerie ennemie. Ce n'est pas pour y pénétrer, mais pour la faire sauter, la détruire, en empêcher le prolongement, et surtout l'utilisation. Dès que l'un se croit à bonne portée, il établit son fourneau de mine, bourre et fait exploser. Il faut ici bien posséder ses formules, car la charge varie selon l'effet à produire, et pour faire jouer un camouflet, elle doit être exactement calculée. Le camouflet est l'explosion souterraine qui enfonce la galerie adverse et ameublit le sol à la ronde, sans produire d'effets extérieurs : explosion fort redou-

table d'ailleurs, car elle remplit la galerie de l'ennemi de gaz asphyxiants.

Les mines ont été souvent employées à faire sauter des batteries. Mais c'était au temps où la portée des canons était telle qu'on pouvait en approcher de très près. Au siège de Turin, en 1706, sur 16 pièces d'une batterie, 13 furent culbutées et enterrées par l'explosion de 4 fourneaux aménagés sous elle. Cet exploit fut même renouvelé plusieurs fois.

On emploie encore les mines à détruire les forts ou ouvrages défensifs qu'il faut évacuer et qui serviraient de point d'appui à l'ennemi, ou bien les maisons d'une ville. Au siège de Saragosse, nous tenions une faible partie de l'enceinte. La ville avait été partagée en sortes de forteresses juxtaposées, par des barricades et autres défenses. On ne pouvait songer à les attaquer de front : on les entreprit par en dessous. On chemina de cave en cave, en faisant des explosions successives qui vinrent à bout de la résistance pourtant désespérée des Espagnols. Avec les mines on peut tout, — ou on ne peut rien : la méthode vaut ce que valent les hommes, par le caractère et par la science.

Nous venons de voir le mineur prendre la ville de Saragosse ; à Mouzon, nous la voyons défendre avec succès, par un simple mineur, Saint-Jacques. Quatre mois durant, presque sans outils ni ressources, il mena la campagne. Les Espagnols minaient, il contre-mina, dégoûtant l'adversaire de ses essais successifs, et lui tenant tête jusqu'au bout. Celui-là aussi est une des gloires des mineurs français.

En d'autres circonstances, la mine a servi à détruire des emplacements que l'ennemi aurait pu

utiliser, ou bien à en faire sauter sur lesquels il avait des troupes. Les mines ont des emplois très variés. Ou plutôt, elles les ont eus jusqu'à Louis XV. Sous Louis XIV, la guerre de siège ou de position tenait la place principale, et, d'autre part, l'artillerie à faible portée était incapable d'ouvrir la brèche et obligée de se tenir très près. Dès lors le mineur pouvait agir, et son concours était indispensable. Artilleur et mineur opéraient d'accord, tant à l'attaque qu'à la défense. Mais, sous Louis XV, le matériel devint plus mobile et plus puissant, et, peu après, la Révolution inaugurait les guerres de manœuvre et de mouvement. Les sièges prenaient moins d'importance, et l'artillerie, à plus longue portée, permettait de se passer des mines.

Pourtant leur règne n'était pas fini.

Si, pour en éloigner le canon devenu plus puissant, on entourait la place d'ouvrages avancés, on ne faisait souvent que reculer pour mieux sauter, au sens technique du terme. La décision était ajournée, retardée, mais non pas changée. Et les mines sont restées en usage; elles sont toujours employées. Il y a toujours les tranchées qui permettent d'approcher, et d'assez près, et de ces tranchées, il est toujours loisible de faire des cheminements souterrains, des galeries. L'histoire de Port-Arthur est là pour le faire voir : assaillants et défenseurs en ont fait un emploi qui dénote leur ténacité, leur impérieuse volonté de vaincre. Le rôle des mines n'est pas terminé, tant s'en faut.

Leur technique s'est beaucoup perfectionnée. Qu'on songe à tous les explosifs découverts depuis une cinquantaine d'années, et qui sont utilisés par le mineur. Chacun d'eux veut être traité d'une

façon différente. Et chacun d'eux a ses applications particulières.

Le mineur doit donc posséder un bagage considérable de connaissances spéciales. Il doit savoir comment on traite, conserve et transporte ces personnalités instables que sont les explosifs; quelle charge il en faut employer, selon les conditions et le but proposé, renseignement qui lui est fourni par nombre de formules qui supposent certaines connaissances mathématiques. Il doit savoir quelle longueur de bourrage s'impose, selon les conditions, selon le but; quel espace il faut laisser entre les fourneaux de mine quand on procède par explosions multiples. Rien de tout cela ne se devine ni ne s'improvise : l'expérimentation et la mathématique ont permis de déduire des règles précises auxquelles il faut se tenir.

Pareillement, il y a toute une méthode, toute une technique de la construction des puits, des galeries, des rameaux; et elle varie selon la nature du terrain, selon le caractère tout à fait éphémère, ou un peu plus permanent du travail. Tout cela a été codifié : le mineur sait ce qu'il a à faire, de quelle façon et combien de temps, à peu près, cela va lui demander.

Le but est invariable : faire une explosion, et l'opération finale, c'est l'établissement de la chambre aux poudres, du fourneau de mine. Cette chambre est une cavité, que l'on creuse au bout du puits ou du rameau de galerie; les dimensions en sont réglées par la charge qu'on y veut introduire; et la charge, naturellement, dépend du terrain et de l'effet recherché. Elle dépend aussi de l'explosif employé, car, sous même volume, deux explosifs différents ont des puissances différentes. On tient

compte de tout cela pour faire une chambre aux poudres suffisante, ayant les dimensions requises. On se garde de perdre du temps à la faire trop grande, bien qu'en fait, sa capacité puisse être huit ou dix fois supérieure au volume de la charge sans diminuer d'une quantité appréciable l'effet de celle-ci.

Une fois le fourneau établi, on joint aux explosifs les détonateurs qui en détermineront l'explosion, et on met en place, soigneusement, l'engin qui servira à la mise du feu. Il varie selon les circonstances : parfois la traînée de poudre suffit (démolition d'édifices), ou bien le saucisson, protégé contre le bourrage par un auget; on emploie encore des cordeaux spéciaux, dont le Bickford est le plus connu et le plus ancien; enfin il y a les fils électriques; et c'est là le procédé le plus moderne.

L'opération n'est toutefois pas terminée quand on a garni la chambre aux explosifs, mis en place les détonateurs, relié ceux-ci au fil électrique qui servira à faire partir le fourneau une fois tout le personnel ramené en arrière, à distance prudente. On ferait passer le courant, à ce moment, que le fourneau ne donnerait à peu près rien des résultats attendus. Il « soufflerait » dans la galerie en l'empoisonnant, et donnerait peut-être un petit camouflet local et restreint. Ce n'est pas ce qu'on cherche : on veut l'effet maximum compatible avec la charge, et, pour l'obtenir, il faut bourrer. Faire exploser une charge d'explosifs dans une chambre en communication avec l'extérieur, c'est presque comme si on la faisait exploser à l'air libre. Et on sait que, dans ces conditions, l'effet produit est peu de chose, comparé à ce qu'il est quand la charge est enfermée. Bourrer, c'est boucher la galerie, au

voisinage de la chambre, de façon à clore celle-ci hermétiquement : c'est fermer la chambre, pour obtenir le maximum d'effet explosif.

Par conséquent, une fois le fourneau en place et le fil posé, on s'occupe à bourrer, à remplir la galerie, au moins sur une certaine longueur. Ici encore, il y a la manière et toute une technique. Une formule indique quelle doit être la longueur du bourrage, d'après la charge du fourneau. Et ce bourrage se fait avec les matériaux disponibles, de préférence ceux dont le transport et le maniement sont faciles : sacs de terre ou de sable, briques, mottes de terre gazonnée. Il ne sert pas seulement à assurer le maximum d'effet explosif autour du fourneau même : il empêche la galerie d'être envahie par les gaz asphyxiants qui résultent de l'explosion.

Une fois qu'il est terminé, tout est prêt : et on fait jouer le fourneau, au moment voulu.

Faire jouer le fourneau, c'est produire l'explosion... Les effets de celle-ci varient, comme le dit l'éminent critique militaire du *Journal des Débats,* M. Henry Bidou, plus connu comme critique dramatique, mais qui a toujours porté le plus vif intérêt aux choses militaires et, par ses connaissances étendues en géologie et en géographie, était particulièrement préparé à juger la situation militaire.

Les effets de l'explosion, dit-il, sont de deux sortes. Les uns sont souterrains. La chambre des poudres est agrandie, les terres sont comprimées, et les vides qui se trouveraient à l'entour seraient écrasés. Les pressions se transmettent par zones sphériques concentriques, en décroissant comme le carré des distances. L'explosion détruit ainsi dans un certain rayon, dit de bonne rupture, les mines de l'ennemi. Quand le fourneau produit uniquement un effet souterrain, il prend le nom de camouflet.

Mais une seconde série d'effets se produit en surface. On voit d'abord les terres se bomber au-dessus de la chambre ; ce bombement s'étend en couronnes concentriques ; puis une projection violente se produit au centre et gagne rapidement toute la partie soulevée. Le résultat est un trou circulaire qu'on appelle l'entonnoir. Les terres, projetées en gerbe, retombent en partie dans l'entonnoir, en partie sur ses bords dont elles forment les lèvres. Dans les fourneaux dits ordinaires, le rayon du cercle qui forme la trace de l'entonnoir sur le sol est égal à la profondeur où était placée la chambre des poudres. Mais ce rapport peut varier si le fourneau est surchargé ou sous-chargé.

On calculait la charge, avec les anciennes poudres, selon une règle très simple : le nombre des kilos était le cube de la distance (en mètres) du fourneau au sol, multiplié par un coefficient qui variait avec le terrain : en Argonne, par exemple, il faudrait généralement adopter le coefficient propre à l'argile mêlée de roche solide, qui est de 2,25. Sous une maçonnerie, le coefficient varie de 2,50 à 4, chiffre réservé aux maçonneries romaines, les plus difficiles à ébranler.

Voilà l'essentiel de ce qu'il faut savoir pour comprendre la guerre de mines qui se fait actuellement, et qui suppose, partout où elle se produit, que les tranchées des deux adversaires sont arrivées à très petite distance l'une de l'autre. Aussi voyons-nous les épisodes souterrains, d'abord rarement cités, se multiplier depuis quelques semaines, à mesure que les travaux des deux partis sont plus avancés.

Tout dépend évidemment de l'art avec lequel le fourneau de mine sera placé juste au-dessous des tranchées de l'adversaire. Une explosion qui se produit en avant de ses tranchées lui est au contraire favorable, s'il se jette dans les entonnoirs formés et s'il les occupe avant l'assaillant. Les communiqués montrent à chaque instant les Français sortant de leurs tranchées pour se jeter dans les entonnoirs produits devant leurs lignes par des mines allemandes, et les transformant en une nouvelle ligne de tranchées.

Les galeries souterraines ne possédant qu'une ventilation naturelle très insuffisante, on fait emploi maintenant, dans la guerre de mines, de ventilateurs pour injecter de l'air pur du dehors au fond des galeries, et on dispose d'appareils de

sauvetage et de médicaments pour ranimer les asphyxiés. Car les accidents sont fréquents.

Il y a des cas encore, où, à cause du temps et du travail nécessaires au creusement des galeries, on se dispense d'en faire. Ou plutôt, à partir d'une d'elles, on pratique une mine forée. On a des trépans, des perforatrices du genre de ceux qui servent à faire les sondages, au moyen desquels on fait un forage qui peut atteindre plusieurs mètres. Ce forage donne une petite galerie de quelques centimètres de diamètre. En poussant au bout un pétard de dynamite que l'on fait exploser, on détermine la formation d'une chambre propre à recevoir une charge plus considérable et capable de faire office de fourneau.

Il y a d'autres procédés encore, tenus secrets, et dont on ne parle pas.

Au total, l'art du génie est très divers; ses ressources et ses méthodes varient selon les conditions où il opère et le but qu'il se propose. S'il y a des règles générales bien établies, il faut toujours les adapter à chaque cas particulier, et c'est dans le choix de la tactique à adopter que se révèle l'ingéniosité du mineur. Rien de plus intéressant, à cet égard, que l'étude de la guerre de mines, jour par jour, point par point, telle qu'elle se fit à Port-Arthur.

Russes et Japonais s'y cherchaient sous terre, autant que dessus. En diverses occasions, la galerie des uns vint s'ouvrir dans celle des autres, et on se battait à coups de grenades, au fusil et à la baïonnette. Mais ce n'était point là le but : ce qu'on cherchait était la destruction, ou bien des ouvrages, ou bien des galeries poussées par l'assiégé vers l'assiégeant.

Les galeries de l'assiégeant avaient toutes leur point de départ dans les tranchées, dans les parallèles. Elles étaient d'ailleurs admirablement faites, bien boisées aussi pour en empêcher l'effondrement, et les Japonais avaient imaginé un matériel de mines exceptionnellement bien établi.

Rien de surprenant à ce que Port-Arthur ait témoigné de la vitalité de l'art du mineur : ce fut un siège, et s'il est une circonstance où la guerre de mines doit jouer un rôle, c'est bien celle-là. Le fait n'est pourtant pas obligatoire : l'histoire cite de nombreux sièges où les mines ne jouèrent aucun rôle.

III

Nous avons vu ce que sont les mines, et ce que sont les tranchées, séparément. Voyons maintenant le rôle qu'elles jouent, les unes contre les autres, dans la guerre actuelle.

Les communiqués nous parlent de temps à autre d'une tranchée qui a été bouleversée par une mine et dont les défenseurs ont été tués ou pris.

Que s'est-il passé? Un sergent du génie nous l'a raconté.

Nous avons, dit-il, entrepris des mines au nombre de quatre, dans le but de faire sauter la tranchée allemande qui se trouve à 30 mètres en avant et d'enrayer les Allemands dans leur travail de mines, car il est certain que, de leur côté, ils essaient de nous faire sauter.

Étant mineur de 1re classe, j'ai reçu de mon capitaine la direction de ces travaux si délicats et peu faciles à faire dans un terrain bouleversé par les obus. Deux de mes galeries ont déjà 12 mètres de long, et c'est justement de l'une

d'elles que je vous écris ces lignes, à la lumière d'une bougie, assis sur une planche, tout en surveillant le travail des hommes. Ce travail est pénible, je vous assure. Il s'agit de creuser une galerie de 1m50 de haut sur 1 mètre de large. Au fur et à mesure que l'on avance, de mètre en mètre, on place des cadres en bois dur et, entre les parois et les cadres, on boise la galerie avec des planches dites de coffrage; le dessus de la galerie est boisé avec des planches plus fortes appelées planches de ciel, que l'on pousse au fur et à mesure que l'on avance, jusqu'à ce qu'on ait fait un mètre, et que l'on place un nouveau cadre. Il faut travailler penché. Plus l'on s'enfonce, plus il fait chaud; aussi les sapeurs mettent-ils à bas la capote et la veste. Pour évacuer les terres extraites au dehors, on est obligé de se servir de paniers; l'entrée de la galerie est en escalier et rend impossible l'emploi d'un chariot de mine; le travail est donc, comme vous pouvez en juger, extrêmement pénible. Malgré tout, on avance chaque jour de 2 mètres; de plus, comme il faut nous enfoncer assez profond en terre pour arriver à environ 6 mètres sous la tranchée allemande, on donne une inclinaison de 20 centimètres par mètre à la galerie, c'est-à-dire que chaque cadre se trouve placé 20 centimètres plus bas que le précédent. Voici la vie du mineur, qui travaille six heures, sans autre arrêt que quelques minutes de temps à autre, pour écouter si l'on n'entend pas les Boches travailler. Ces écoutes, on les pratique en fermant hermétiquement l'entrée de la galerie, puis, tout au fond, on se couche sur une planche, l'oreille collée au sol et la tête recouverte d'une toile; on entend ainsi très bien travailler à 10 mètres de soi...

Voilà les préliminaires. Dès que le travail est achevé et que l'on se sait sous la ligne des tranchées ennemies, à 3 ou 4 mètres de profondeur, on établit les fourneaux. La charge en est calculée selon la hauteur probable du sol, au-dessus d'eux, et on la détermine sans peine, de façon très suffisamment exacte; on pose le fil ou le cordeau pour la mise à feu, on pratique le bourrage et on fait sauter la mine. « Tout saute en l'air. » Une masse de terre est projetée vers le ciel, où on distingue

çà et là des corps, des armes, et le tout retombe

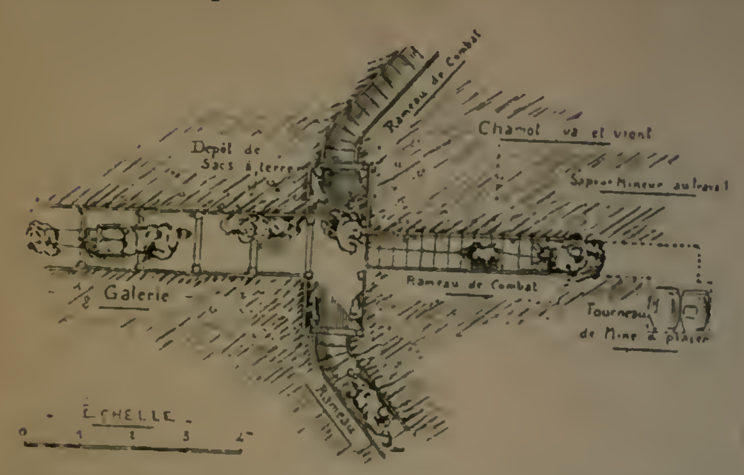


Fig. 3. — Travail de mine : départ en trois rameaux au fond d'une demi-galerie, en plan.



Fig. 3 bis. — Coupe du même travail de mine, selon l'axe de la demi-galerie et du rameau central de combat. Le mineur français est arrivé à bonne partie au-dessous de la tranchée allemande, dans le rameau de combat, et va poser son fourneau de mine.

(D'après l'*Illustration.*)

sur le sol. Assez souvent, on fait au préalable

usage d'un stratagème. Exemple, ce qui se passa, l'hiver dernier, à Beaurains. Voici ce que raconte un des témoins et acteurs :

Une galerie préparée par nos mineurs nous permit d'atteindre vers midi les ouvrages ennemis. A 12^h20, les charges sont en place.

Il s'agit maintenant d'attirer à l'endroit qui sautera tout à l'heure le plus d'ennemis possible. Une section de zouaves, avec de grands cris, sort de sa cachette et se précipite en avant, puis soudain s'aplatit, feignant d'avoir été décimée par le feu adverse. Cette apparence de succès encourage les Allemands, qui contre-attaquent vers 1 heure.

Nous les voyons s'avancer au pas, en ligne impeccable ; seul, le bruit des bottes martelant le sol durci par la gelée.

Un coup de sifflet bref coupe l'air : une lueur rouge, un grondement, la terre qui se soulève en cinq endroits à la fois. Des masses de pierres projetées en l'air, et avec elles des corps mutilés, sanglants. Les mines ont éclaté !... Dans les cinq entonnoirs creusés par l'explosion, nos hommes s'installent à leur tour, rétablissent la tranchée, mais pour notre plus grande commodité, cette fois.

Le but de ces opérations, les deux lignes précédentes l'indiquent. Ce n'est pas seulement de faire sauter les ennemis, mais aussi de prendre leur place et de gagner du terrain en avançant le front des tranchées. Aussitôt l'explosion faite, nos soldats sortent en hâte de leurs abris et vont se jeter dans les entonnoirs créés par les mines. Ces entonnoirs, ils vont les relier entre eux, par des cheminements qu'ils prolongeront autant qu'ils pourront sur les côtés, et le tout deviendra une nouvelle ligne, avancée, de tranchées. C'est ce que, en langage technique, on appelle « organiser des entonnoirs ». A la Boisselle, nous avons procédé ainsi. De même au Four-de-Paris, à La Fontenelle, à Carnoy, aux Éparges, à Carency, à Ville-sur-Tourbe, au bois Le Prêtre, et tant d'autres localités désormais his-

toriques, où se feront tant de pèlerinages où nous appelleront tous la tombe d'un parent ou d'un ami.

Détruire les tranchées ennemies, en tuer les occupants, s'emparer des entonnoirs et les faire servir d'abris et d'amorces de tranchées, tel est le but des mines en bien des cas. Naturellement, la nouvelle tranchée est reliée aussitôt à celle qu'on vient de quitter par des cheminements de communication, pour assurer la sécurité des relèves et du ravitaillement.

En d'autres cas, il s'agit de faire sauter des murs ou des ouvrages qui fournissent un abri à l'ennemi.

Nous sommes sur les Hauts de Meuse, en novembre, face à Verneuille, au delà de la forêt d'Apremont.

Comme on ne peut pas se rapprocher de l'ennemi en plein soleil, on va au-devant de lui sous terre. Nos chasseurs ont sans cesse pelle et pioche en main.

Le capitaine, très aimé de ses hommes, parle peu ; mais un matin, il laisse échapper quelques mots lorsque, la tête à l'un des soupiraux, il regarde un blockhaus allemand qui de jour en jour prend davantage l'allure d'une véritable forteresse. Cette menace n'est qu'à 100 mètres de nous. « Voilà, dit le capitaine, un repaire qu'il faudrait faire sauter. »

« Faire sauter ce repaire » devient une idée fixe. Tous les cerveaux la travaillent et, le soir, la solution est trouvée.

En certain point, sans donner l'éveil, on découpera un sentier qui conduira face au blockhaus, qui n'est qu'à 20 mètres de la falaise. Le sommet de la montagne est là en surplomb et en recouvre complètement le flanc.

Les terrassiers ne seront donc pas vus. Ils ne seront pas encombrés par la terre retirée des fouilles, qu'il suffira de jeter dans la vallée.

On ne dort pas ce soir-là dans la tranchée. On discute et quand le plan est bien arrêté, on prévient le capitaine. Il se fait expliquer les moindres détails du projet, les complète lui-même, lorsqu'il lui paraît manquer quelques détails importants.

Dès le matin, des hommes piochent immédiatement, ceux qui les suivent jettent la terre dans la vallée. En deux heures, le sentier est établi. Il faut maintenant miner la caverne ennemie.

A mesure que la place le permet, des hommes, qui se tiennent en file indienne, sur le sentier de guerre, s'engouffrent dans le souterrain creusé et, à leur tour, arrachent la terre, la font voler.

Puis, dans un trou creusé verticalement au-dessous du blockhaus allemand, ils enfilent obus à balles et à la mélinite, cartouches de dynamite, sacs de poudre.

Un artificier d'artillerie vient donner le dernier coup de main à cette préparation.

Le souterrain évacué, la mèche est placée, un chasseur veut lui-même y mettre le feu. Tous les alpins sont dans leurs tranchées anxieux. Ils se pressent pour mettre le nez aux soupiraux. Le temps paraît long.

Tout à coup, le sol se soulève, une crevasse immense laisse échapper une colonne de feu. Des débris de pierres, d'arbres, de terre, de fer, volent de tous côtés. Un bruit infernal...

Une fumée immense cache le ciel. Puis quand tout est fini, les chasseurs s'approchent : le repaire ennemi a sauté avec ceux qui étaient dedans.

Mais on ne peut pas toujours procéder par galerie souterraine : il la faudrait trop longue. Alors il faut user d'habileté... et de courage, et opérer à découvert, à la faveur de la nuit. Voici ce qui se passa à Chauvoncourt. L'ennemi s'y est tapi dans les ruines du village. On décide de faire sauter les murs derrière lesquels il s'abrite, en arrière de ses propres tranchées — qui ne sont pas continues.

Il est une 1 heure du matin. La nuit est, par bonheur, sans étoiles. Les trois sapeurs, en rampant, franchissent les réseaux de fils de fer ; ils contournent les tranchées ennemies et les voilà devant les fameux murs à meurtrières.

C'est long pour en arriver là, mais les Boches ne se sont aperçus de rien. Il est 4 heures maintenant. La pluie s'est mise à tomber. Les sapeurs et les volontaires regagnent nos

lignes, après avoir déposé leur mine, déroulant derrière eux le cordeau détonant qui doit être allumé de nos tranchées. Le cordeau est trempé. La mèche ne veut pas prendre. Par trois fois, les sapeurs la changent. Par trois fois, elle s'éteint. Ce sera pour la nuit prochaine.

Et, à 7 heures, le soir, le même sous-lieutenant et trois sapeurs partent pour une nouvelle expédition. Ils arrivent aux murs des casernes; les Boches n'ont rien vu. La mélinite posée la veille est toujours là. On change les pétards. Mais, au retour, la petite expédition se heurte aux sentinelles boches. Vont-elles voir nos sapeurs? Ils sont à 4 mètres de l'ennemi, immobiles, retenant leur souffle. Les Allemands ne voient rien. Nos braves regagnent leurs tranchées.

Il est 9 heures. Le vent souffle en bourrasque. Le moment est venu de faire sauter les Boches. Une étincelle, suivie d'une explosion formidable. Un nuage de fumée rougeâtre. Les murs des casernes de Chauvoncourt viennent de sauter. On entend des gémissements, des cris de blessés. Les Allemands ont été touchés et leur abri n'existe plus, il leur faut reculer.

Il est souvent sage, en prévision d'un échec, de miner ses propres ouvrages, pour le cas où l'ennemi le prendrait. Ainsi fut fait à La Fontenelle en avril.

Le 13, vers 20h 30, les Allemands, profitant d'une obscurité très opaque, tentèrent un coup de main sur la partie droite d'un de nos ouvrages. Couvrant la position de bombes et de grenades, ils franchirent l'espace qui les séparait du boyau de communication et, croyant avoir encerclé les défenseurs de la tranchée, ils crièrent : « Franzose, rendez-vous ! »

Mais nous avions la veille creusé un nouveau boyau de cheminement qui permit aux défenseurs d'évacuer le poste, et celui-ci avait été préalablement miné.

Dès que les Allemands s'y furent installés, ordre fut donné de provoquer l'explosion.

L'homme chargé de mettre le feu au fourneau, au moment où il approchait l'allumette de la mèche lente, fut renversé par une grenade. Son voisin le remplaça aussitôt.

Une détonation d'une extrême violence fit trembler tout l'ouvrage, suivie de cris de terreur et de douleur. Cent kilos de cheddite avaient projeté dans les airs le poste et l'ancien boyau.

Nous établissions aussitôt un barrage contre lequel pendant plus d'une heure l'ennemi vint se briser.

On entendait les officiers crier dans la nuit, cherchant à pousser leurs hommes en avant, mais ceux-ci, terrorisés par l'explosion, répondaient : « Nein ! Nein ! »

Notre artillerie et nos lance-bombes, guidés par des projecteurs, avaient ouvert le feu sur les ouvrages ennemis. Des hurlements révélaient l'efficacité du tir. Toute la nuit, les automobiles sanitaires allemands roulèrent sur les routes de Laitres et de Launois.

Au petit jour, on put juger de l'effet de l'explosion : des débris humains restaient accrochés à nos défenses accessoires. Les cadavres, broyés, gisaient au milieu des madriers. Une plaque de tôle de 1 centimètre d'épaisseur fut retrouvée à 500 mètres en arrière de nos lignes, tordue et chiffonnée comme une feuille de papier.

Ainsi s'achevèrent à La Fontenelle les travaux de sape des Allemands.

En certaines circonstances, on se contente de donner le camouflet. L'ennemi avance en galerie souterraine : on l'entend travailler des postes d'écoute. Pour l'arrêter, on pousse une galerie vers la sienne, et au plus vite on charge et on bourre.



Fig. 4. — Exécution d'un forage à la barre à mine dans la direction des bruits entendus, en vue d'un camouflet pour arrêter la mine ennemie.

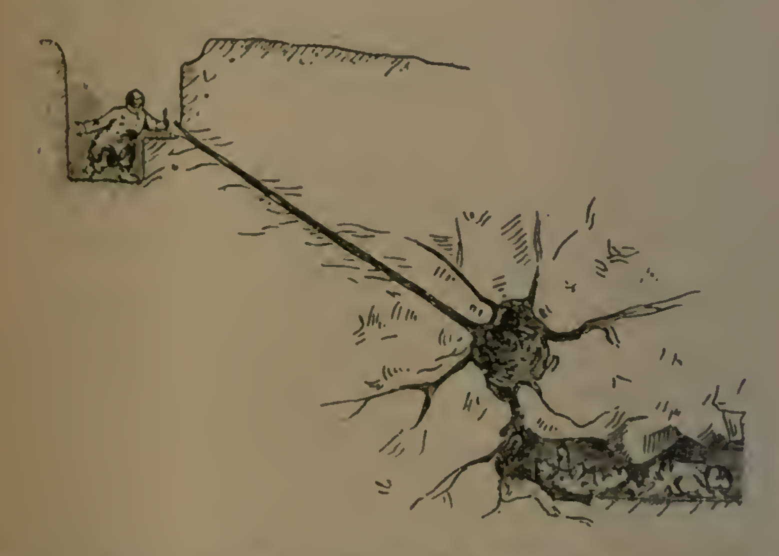


Fig. 4 bis. — Une charge d'explosifs a été placée au fond du forage : un sergent du génie fait jouer le camouflet. L'explosion écrase la galerie ennemie.

(D'après l'*Illustration*.)

Si l'opération a été bien conçue, si la charge d'explosifs a été ce qu'elle devait être en raison de la distance la séparant de la galerie ennemie et de la surface du sol aussi, il n'y a point d'effets extérieurs, pas de gerbe de terre, pas d'entonnoir : les effets restent souterrains. La contre-mine, en explosant, écrase la galerie ennemie qui ne peut plus avancer dans la terre désagrégée. L'agresseur est obligé de la reprendre et recommencer en arrière et de côté : il a perdu du temps et du travail. On a beaucoup fait jouer le camouflet au siège de Schweidnitz en 1762; c'étaient deux Français qui dirigeaient le service des mines : Lefèvre, pour l'assiégeant, Gribeauval pour la défense. La place se rendit après quarante-huit jours de guerre souterraine.

Le camouflet rate parfois.

Une attaque était montée contre les tranchées allemandes des Courtes-Chausses, en Argonne. Sept fourneaux de mine étaient préparés, quatre sous l'ouvrage, les autres à quelques mètres en avant et en arrière.

L'un de ceux-ci devait être chargé dans une galerie où, depuis quelques jours, on percevait le bruit confus de l'avancement d'une sape allemande.

Un matin, on entendit le pionnier siffler et chanter; puis un sous-officier allemand vint mesurer la sape et gourmander les mineurs pour la lenteur de leur travail, déclarant que la mine devait être prête pour le surlendemain.

Le lendemain était le jour fixé pour notre attaque. Les explosifs furent mis en place; mais le soir l'attaque fut ajournée et le fourneau fut déchargé.

Le jour suivant, on n'entendait plus aucun bruit

dans la sape des Allemands; leur mine devait être prête. Nos sapeurs cependant n'hésitèrent pas à retourner installer leur fourneau en vue de notre attaque définitivement fixée au lendemain.

Ils venaient d'achever le bourrage et s'étaient retirés quand le camouflet allemand se produisit.

Un sous-lieutenant descendit dans la galerie pour aller reconnaître les résultats de l'explosion. Il put constater que, grâce à des fissures naturelles du sol, il s'était produit un violent courant d'air. Les gaz n'avaient pas infecté la galerie, et la cheddite de notre fourneau n'avait pas explosé.

Après avoir fait procéder au débourrage de la galerie, l'officier remit tout en place.

Le lendemain, à l'heure prescrite, le fourneau jouait en même temps que les six autres et la position ennemie tombait entre nos mains.

Il va de soi qu'assez souvent une galerie va s'ouvrir dans celle de l'ennemi, au cours de la recherche mutuelle dans le sous-sol.

Nos sapeurs travaillaient, près de Bolante, à une galerie, et celle-ci était parvenue sous un poste d'écoute allemand. On entendait nettement les pas du guetteur.

Notre « écouteur » d'autre part entendait le travail des pionniers ennemis qui poussaient eux aussi une sape vers nos positions. Les deux galeries étaient si proches que l'on se disposait à charger notre fourneau.

Mais brusquement la terre s'éboula à l'extrémité de notre sape. Le pionnier allemand qui se trouvait en tête du travail, se voyant face à face avec notre sapeur-écouteur, s'enfuit précipitamment.

Avant que l'alerte eût été donnée du côté alle-

mand, l'adjudant chef d'écoute faisait barrer la galerie avec des sacs de terre et charger rapidement un fourneau.

On entendit les Allemands revenir en nombre, roulant des caisses d'explosifs dans leurs sapes. Mais l'amorçage de notre côté était déjà terminé, et nous avions évacué la galerie.

La mise à feu de notre mine surprit les pionniers en plein travail. Leur fourneau explosa en même temps que le nôtre, par sympathie, et tous les travailleurs et soldats du poste ennemi furent projetés dans les airs.

Ces rencontres sous terre sont fréquentes. A la ferme d'Alger, près de Reims, les « écouteurs » placés dans un rameau de sape ayant rendu compte de la proximité d'une galerie ennemie, un fourneau de mine fut installé et un puits fut creusé afin d'approfondir la chambre de mine, les travaux allemands paraissant exécutés sur un plan inférieur à celui de notre galerie.

Le sapeur chargé de forer le puits rencontra soudain le vide. Il était parvenu dans la sape allemande.

Toutes les lumières furent aussitôt éteintes et l'on apporta le matériel nécessaire au chargement du fourneau.

Deux officiers du génie et deux sapeurs armés de revolvers s'avancèrent dans la galerie ennemie. Ayant constaté par des chuchotements entendus à faible distance que cette galerie était occupée, ils regagnèrent le puits. Celui-ci fut fermé avec des planches et le chargement de la mine commença aussitôt.

L'opération fut très pénible. Pour ne pas attirer l'attention de l'ennemi, les ventilateurs ne furent

pas actionnés et, faute d'oxygène, les bougies s'éteignaient fréquemment.

Les Allemands cependant furent mis en éveil et on les entendit frapper à coups de pioches et de pics le plancher du puits.

Mais nos sapeurs les gagnèrent de vitesse. Avant que l'adversaire eût rien pu entreprendre, le fourneau chargé de 650 kilos de cheddite explosait, détruisant la galerie ennemie et asphyxiant les Allemands qui y travaillaient.

L'héroïsme est tout aussi opérant dans les luttes souterraines que dans les combats au grand jour. Exemple, ce qui s'est passé dans une galerie, aux Éparges (d'après la *République de l'Isère*).

A droite, on entend un bruit singulier. C'est une sape allemande qui va déboucher dans le réduit d'où partent les cordons destinés à faire exploser nos mines.

Coups de pioche furieux, une poussée violente, des cris de rage, un amas de terre et de cailloux qui tombe et laisse pénétrer un flot d'hommes armés : ce sont les sapeurs allemands qui font irruption dans le caveau, avec pics et revolvers.

Résolus, nos soldats se défendent avec acharnement pour préserver le réseau de cordons Bickford qui doivent allumer les fourneaux de mine, sans quoi le coup est manqué.

Alors, le « Lutteur », un braconnier du Jura, excellent soldat, malgré son hostilité constitutionnelle envers l'État, le « Lutteur » repousse de sa puissante musculature les grappes d'assaillants qui se ruent vers le réduit où aboutissent les cordons. De son poing il assomme deux grands sapeurs bavarois à barbe rousse :

— Fuyez et allumez, dit-il. Ils ne passeront pas.

Les Français se dégagent. Un de nos sous-officiers a déjà allumé un des cordons Bickford. Il crie au « Lutteur » :

— Sauve-toi.

— Non ! Je mourrai ici, mais ils ne passeront pas. Allumez, cré nom !

Le pic à la main, il exécute de redoutables moulinets. Il sait qu'il va mourir, enseveli par l'éboulement que produira l'explosion, mais il veut que l'explosion se produise.

Le sergent allume tous les cordons Bickford.

Le « Lutteur » essuie plusieurs coups de revolver, mais il a réussi à s'emparer d'un gabion qu'il a placé dans l'ouverture qui défend l'entrée du caveau où il s'est arcbouté. Sa masse constitue un rempart. Avec des *hoch* sauvages, les sapeurs allemands essaient de bousculer le « Lutteur ». Raidi par l'effort, son corps fait une barrière.

Une minute se passe. Les Allemands ont fait reculer l'obstacle de chairs sanglantes et ils pénètrent dans le caveau, en passant sur le corps expirant du « Lutteur », espérant arriver à temps pour éteindre les mèches fumantes.

Trop tard ! une détonation formidable. Le sol est soulevé. Toutes les mines viennent d'éclater. Dans un amas de décombres, les Allemands sont ensevelis, et la position est détruite.

Avec eux le « Lutteur » est enseveli, mort de la mort héroïque qu'il a voulue...

Dans ces rencontres souterraines, comme à la surface, les mouvements de débordement et de flanc sont parfois possibles, quand l'attaque de front est trop dure. Dans le Nord, en juin, il s'agissait d'enlever le reste d'un village, en particulier une grande construction à l'aspect froid et sévère qui lui avait valu le surnom de la « prison ».

A 10 heures du soir, on attaque résolument et on avance en rampant jusqu'à 20 mètres de la bicoque. Puis on s'élance. Une terrible fusillade éclate soudain, fauchant notre premier rang. Mais notre attaque a été menée trop rapidement pour être enrayée. Nous sommes dans la place. Il s'agit maintenant d'en déloger les occupants. Parmi les ruines qui s'amoncellent au rez-de-chaussée, pas un être vivant. Un escalier se présente. Un sergent, suivi de quatre hommes, descend quelques marches. Il est tué d'une balle. L'ennemi est dans les caves.

Rapide conciliabule : certainement il y a une

autre issue : il faut la trouver. Des hommes partent en exploration : l'un d'eux revient triomphant. Dans l'obscurité, il a aperçu une forme humaine sortir avec précaution d'une sorte de tranchée creusée à 100 mètres en arrière de la « prison » et se diriger vers le centre du village. Il s'est alors avancé en glissant sur le sol jusqu'au boyau de communication, et a constaté que celui-ci s'enfonce sous terre. C'est la sortie prévue par les Boches « en cas de danger ».

Le capitaine demande trente volontaires : soixante soldats se présentent ; sous sa conduite la petite troupe s'engage dans le souterrain. Le reste de la compagnie veille à l'autre issue. Un long silence, puis des détonations sourdes, et enfin une voix, celle du capitaine, se fait entendre : « Attention, de l'autre côté ! En avant ! » De « l'autre côté » on s'engouffre dans l'escalier, sans rencontrer de résistance, on arrive dans une grande salle basse à peine éclairée par une lampe à huile et, dans la demi-obscurité, on voit autour d'un « oberlieutnant » une quarantaine d'hommes groupés ; ils paraissent hébétés et lèvent les bras. Çà et là, quelques cadavres et des blessés qui geignent. Dans un coin, des mitrailleurs attachés à leurs pièces. Et le capitaine, le visage souriant, qui dit : « Voilà le gibier. On ne nous attendait pas de ce côté, à ce qu'il paraît ! » L'officier allemand blêmit, mais ne dit pas un mot.

Surpris par notre brusque irruption, l'ennemi n'a tenté qu'une faible résistance. Se voyant cerné, il se rend. De notre côté, six blessés : aucun grièvement.

Quelle que soit la raison pour laquelle on a fait une explosion, sous les tranchées ennemies ou sous

un ouvrage, la suite de l'histoire est toujours la même. On attaque, c'est-à-dire qu'on sort de la tranchée pour envahir celle de l'ennemi, pour occuper. L'opération a été mille fois décrite. Le récit qui suit est très représentatif, et d'une sobre exactitude. Il est d'un jeune sergent de Moulins, et a paru dans l'*Avenir du Puy-de-Dôme*, à moins que ce ne soit dans le *Progrès de l'Allier*. Nous sommes en Argonne, à Bolante.

Le 10 mars, arrive l'ordre d'attaquer les tranchées qui sont en face de nous. Sept fourneaux de mines vont sauter, le premier à 6 heures, les autres à une minute d'intervalle. A l'explosion de la cinquième sape, les troupes d'assaut sortiront de la tranchée par des échelles disposées d'avance à cette fin, occuperont les cuvettes et les tranchées adverses et se mettront en état de défense.

A 5h 30, tout le monde se tient prêt, baïonnette au canon. On est très calme, mais un peu pâle.

6 heures. La première sape saute : un bruit sourd, une immense gerbe de fumée, de feu, de pierres, jaillit comme d'un volcan et s'abat sur nous, qui sommes collés au parapet. Une seconde, puis une troisième, une quatrième. Nous trouvions les minutes longues. La cinquième explosion est terrible : des blocs énormes volent comme des fétus, la terre tremble. En avant !

Nous bondissons du haut des échelles et nous précipitons, l'arme à la main, dans la fumée intense et parmi les pierres qui retombent. Le moment est impressionnant, je t'assure ! Je perds les camarades de vue. Tout le monde est aveuglé. Mais peu à peu on y revoit clair et l'on se retrouve sans trop de mal. Les deux dernières sapes sautent avec le même éclatement d'enfer, mais nous sommes en sûreté dans la tranchée ennemie, où nous sommes arrivés du premier coup. Nous surprenons les Boches cachés dans leurs abris. En un clin d'œil, nous faisons la situation nette en abattant tous ceux qui nous tombent sous la main.

Nous arrivons à la mitrailleuse qu'une mine a mise hors de service et dont nous faisons les servants prisonniers. Puis, sans perdre une minute, nous commençons l'organisation de la tranchée conquise. Pendant que les uns tirent,

lancent des bombes et des grenades, les autres font un boyau de communication avec notre précédente tranchée, remplissent des sacs de terre pour faire un parapet et ébauchent des créneaux. C'est un travail prodigieusement laborieux, qu'il faut interrompre à chaque instant pour éviter une bombe, pour lancer une grenade, pour soutenir et réconforter un camarade blessé.

Puis la fête recommence. A midi, la situation est bonne : nous avons conquis deux lignes de tranchées.

Une fois installé on se repose... plus ou moins. Souvent, l'ennemi contre-attaque, et plusieurs fois de suite. Si l'on a du loisir on « organise la position » ; et si l'on n'en a pas, on en trouve tout de même pour ce faire.

La guerre de mines suppose une grande activité ; on n'est guère témoin de celle-ci, tout se passant sous terre. Et elle demande beaucoup d'ingéniosité, de savoir-faire, de science, d'initiative. Le réseau souterrain est assez compliqué, par surcroît.

Nous sommes en pleine guerre de mines et de contre-mines, écrit un témoin. Les tranchées allemandes, en face de nous, se trouvent à des distances variant de 80 à 300 mètres. Une route borde, sur une certaine longueur, les tranchées françaises.

Chassés au delà de la route, les Allemands, une fois installés dans leurs tranchées, n'eurent qu'une idée, réoccuper la route, et comme leurs tentatives sur terre restaient infructueuses, ils eurent recours aux voies souterraines. Ce fut dès lors, de leur côté, une marche sourde, tenace, implacable, à travers un réseau de galeries et de rameaux d'attaque, qu'ils menaient vers nous avec rapidité, un bataillon de mineurs vint à la rescousse, des pionniers, des compagnies de combat allemandes. Il faut reconnaître qu'ils allèrent vite.

De notre côté, nous déployâmes, dans le rôle défensif, des qualités merveilleuses. Le génie, les territoriaux rivalisèrent d'ardeur, d'ingéniosité, de ténacité. Contre les tentacules de la pieuvre qui s'avançaient menaçants, nous tendîmes un filet de mailles si serrées que la pieuvre ne put réaliser au travers de celui-ci aucune de ses menaces.

Semblables à des marins dont le vaisseau porte la vie et la fortune, nous organisâmes, contre les torpilles souterraines, qui, sournoises, cherchaient à s'agripper à nos flancs, une formidable et impénétrable cuirasse. Leurs galeries eurent beau se superposer les unes aux autres, leurs rameaux eurent beau s'incurver, changer de direction, tenter des mouvements tournants, les Allemands trouvèrent toujours devant eux nos fourneaux de mines, qui les forçaient à reculer, ou nos galeries, si solides, que les coups de mine n'avaient pas de prise sur elles.

L'œuvre de préservation fut énorme et splendide. Éventés constamment, à certains moments, les Allemands détruisaient eux-mêmes leurs galeries et leurs rameaux, dans la rage de n'avoir pu les utiliser à temps.

Tout dernièrement encore, l'explosion d'un de nos fourneaux crevait l'un de leurs rameaux par le travers, provoquant l'éboulement des terres sur une trentaine de mètres de longueur ; or, le rameau crevé était prêt à être utilisé, le fourneau chargé, le bourrage fait. Quelques jours après, nous parvenions à nous emparer de plusieurs milliers de sacs de bourrage et de plusieurs milliers de kilos de poudre, que contenait le rameau éventé.

En général, ces quelques mots : « Guerre de mines » disent peu ou beaucoup suivant que l'imagination de chacun reste à court ou complète la concision des communiqués officiels à ce sujet.

Une galerie quelconque, d'où peuvent se détacher un ou plusieurs rameaux (le rameau de dimension plus réduite en général, moins résistant que la galerie, est destiné à recevoir la mine ou fourneau, s'enfonce dans le sol par une pente plus ou moins rapide, où, le plus souvent, elle débute par un puits creusé à pic d'une certaine profondeur. D'ailleurs, le travail de la sape et de la mine varie dans son exécution avec les terrains, les moyens dont on dispose, et aussi les hommes.

Voici, par exemple, un puits profond dont l'ouverture circulaire a environ 1 m 50 de diamètre. Le puits est couvert par un toit formé par deux rangées de madriers superposés horizontalement, sur lesquels s'étale une couche de terre. Ce toit est supporté par des chandelles énormes ou madriers, fichés en terre verticalement. Il y a deux façons de descendre dans le puits : soit au moyen d'une échelle de corde fixée, par intervalles, à la paroi, soit à l'aide d'une corde enroulée sur treuil, qui forme pont au-dessus du puits, et qui sert à

faire descendre ou monter une benne contenant les matériaux nécessaires ou les terres rejetées.

Nous voici descendus. La galerie qui part du fond du puits est de hauteur et de largeur suffisantes pour qu'on puisse s'y mouvoir librement, sans autre contrainte que celle de plier légèrement le corps. Une armature constituée par des pièces de bois admirablement agencées soutient le plafond et les parois. A l'extrémité de la galerie, l'extraction des terres se poursuit. Plusieurs fois, tout travail est suspendu dans les galeries et rameaux, pendant un temps plus ou moins long pour l' « écoute ». Dans un silence absolu, chacun essaie, l'oreille collée aux parois, de percevoir les bruits qui peuvent dénoncer le voisinage de l'ennemi.

Dans la guerre de mines, un ennemi éventé est un ennemi rendu à merci. Prévenir c'est vaincre.

Que la tranchée ou la position ennemie ait été attaquée à la mine seulement ou bien bombardée par l'artillerie, le terrain à conquérir est un véritable chaos de trous d'obus ou bien d'entonnoirs de mine. Ces trous sont précieux. Les assaillants, sortant de leur tranchée, s'y jettent, y étant plus ou moins protégés contre le feu ennemi, et tandis que les uns veillent à la défense, au cas où l'ennemi attaquerait, ou plutôt contre-attaquerait, les autres « organisent le terrain conquis » en y mettant de l'ordre, en reliant entre eux les entonnoirs, qui servent d'amorce à une ligne de tranchées, en creusant des abris et en construisant des parapets. Ils organisent aussi des boyaux de communication allant à la tranchée la plus voisine en arrière, pour assurer la relève et le ravitaillement. Tout cela sous le feu de l'artillerie et de l'infanterie, sous les marmites, shrapnels et grenades.

Est-il besoin de faire observer que dans les deux guerres, de tranchées et de mines, la géologie joue un rôle capital? Il y a de bons terrains, où la fouille est facile et où les terres « se tiennent ».

D'autres sont détestables : trop durs et nécessitant le trépan, les pétards, etc., comme les sols rocheux ; trop tendres au contraire, coulants, tel le sable. Il est des terrains où la tranchée est à peu près impossible ; là où, sous une mince couche de terre, on rencontre le granit par exemple. Certains favorisent ou entravent les entreprises, par l'agencement des couches : ici, l'eau jaillit et empêche de continuer ; là, elle permet une tentative d'inondation de galeries adverses. Le rôle de la géologie et de la géographie physique, qui est immense dans la guerre dans son ensemble, l'est aussi dans la guerre de mines et de tranchées.

Évidemment, il n'est pas encore temps de tirer des conclusions sur celle-ci ; mais il semble bien, à première vue, que désormais les nations ayant quelque souci de leur sécurité auront pour premier soin d'établir à l'avance, en temps de paix, sur leurs frontières, de solides et nombreuses lignes de tranchées. Rien n'est plus propre, selon les apparences, à arrêter un ennemi aussi bien pourvu en matériel, et aussi courageux, et, en même temps, beaucoup plus nombreux.

Ce qui est certain, c'est que le système défensif de tranchées arrête net l'offensive de l'ennemi et, en faisant durer la guerre, oblige les combattants à attendre la décision d'autre chose que du choc des armées en présence. Un critique militaire bien connu, le colonel danois N. P. Jensen, a écrit à ce propos une page fort intéressante, au mois de mai 1915. Elle mérite d'être transcrite ici en guise de conclusion.

La guerre franco-allemande de 1870-1871 dura six mois. La guerre mondiale d'aujourd'hui a déjà duré plus de huit mois, mais rien encore n'est décisif. Les espérances du début ont

été en Allemagne absolument déçues. Le général de Bernhardi avait décrit, dans son *Vom heutigen Kriege* de 1914, ce que les Allemands voulaient faire et ce que leurs adversaires devraient faire. Mais le général Joffre n'a pas suivi ses indications; la conséquence en fut que l'armée d'invasion allemande, après une offensive de quinze jours, se vit obligée de reculer et de prendre position, vers le milieu du mois de septembre, derrière la rivière de l'Aisne. Cette position s'étendit progressivement de Bâle à la mer (Nieuport).

Le plan de campagne des Allemands avait donc entièrement échoué; de l'offensive ceux-ci passaient à la défensive. Cependant, comme le général Joffre ne disposait pas de forces suffisantes pour continuer son offensive, il dut s'arrêter en face de l'ennemi. Les deux partis commencèrent alors à fortifier leurs positions. Les Allemands furent ainsi forcés de combattre d'une façon qui était justement celle qu'ils avaient voulu à tout prix éviter. Le général de Bernhardi dit à ce sujet (*op cit.*, chap. XI, p. 253) : « Quant à nous, nous ne nous défendrons certainement pas derrière des glacis et des fossés. Le génie des Allemands nous en garde! » Néanmoins, il est arrivé ce que les Allemands repoussaient énergiquement, et ils ont depuis combattu sans interruption dans ces mêmes positions sans réussir à s'approcher d'un seul pas à la fin. Les batailles furent des boucheries épouvantables qui ont occasionné d'immenses pertes et dont les Allemands — d'après ce qu'on dit — ont eu à souffrir bien plus que leurs adversaires. En même temps, ils étaient obligés d'accepter le combat avec les Russes sur le théâtre oriental; ils n'avaient donc plus la libre disposition de leurs forces. Or, le résultat décisif devait être recherché par eux sur le théâtre occidental, car les Russes peuvent toujours l'éviter en répétant la tactique suivie en 1812 contre Napoléon. Mais comme les Allemands désirent à tout prix empêcher les Russes d'arriver à Berlin, but commun des alliés, une très importante portion de leurs forces doit rester en permanence sur ce front.

Il semble naturel de se demander pour quelle raison le général Joffre n'a pas profité de cette situation pour forcer la position occupée par l'ennemi. En effet, cela aurait pu se faire; mais le seul profit qu'on en eût tiré, c'eût été de voir les Allemands se retirer dans une position analogue, préparée d'avance et contre laquelle le même effort aurait été à recommencer. Si le général Joffre n'en a rien fait, c'est qu'il se proposait un but bien plus haut. Il ne prendra largement

l'offensive que quand les armées franco-anglaises seront assez fortes pour obtenir un résultat tel que les alliés pourront dicter la paix à l'Allemagne. Voilà pourquoi toutes les mesures doivent être prises avec calme et méthode, et il faut reculer l'entrée en action jusqu'à ce que toutes les chances d'exécution soient assurées. Tout semble indiquer que ce soit là le *leitmotiv* du général Joffre, en plein accord avec les généraux French et Kitchener. Les grandes opérations ne commenceront donc que quand les armées alliées auront reçu les renforts et les munitions nécessaires. On travaille certainement avec cette idée-là, et la marche en avant se fera quand le général Joffre aura jugé que le moment est venu où, avec un maximum de forces, il obtiendra un maximum d'effet. Et c'est là la vraie stratégie.

Il est vrai que les Allemands sont 70 millions contre 40 millions de Français..., mais la lutte se présente pour la France dans des conditions des plus favorables. Car tandis que l'Allemagne ne peut employer qu'une partie de ses troupes sur le théâtre occidental, la France est en état d'y jeter toutes les siennes, puisqu'elle n'a rien à craindre des États neutres qui l'entourent. Si on ajoute à cela que la France n'est plus seule, mais que des armées belge et anglaise luttent à ses côtés, il est très naturel que les alliés soient fermement convaincus de leur victoire, et il faut reconnaître que cette conviction repose sur une base solide.

Ainsi soit-il...

Un mot en terminant, pour remercier tous ceux qui, combattants et écrivains, ont fourni les passages les plus intéressants, les passages vécus et si pittoresques des pages qui précèdent, sous la forme des nombreux emprunts faits à la presse quotidienne. Ce sont les véritables auteurs de ce petit livre : je le reconnais humblement. A tous merci, et, aux combattants, bonne chance par surcroît...

TABLE DES MATIERES

NANCY-PARIS, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — NOVEMBRE 1915

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1916

ɔuscriptions du Ministère de l'Instruction publique et du Gouvernement Belge

1e Série d

G. CROUVEZIER

LA GUERRE AÉRIENNE

Le Rôle de la Cinquième Arme

HISTORIQUE DE L'AVIATION
L'AVIATION DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
ROLE DES AVIONS — CATÉGORIES D'AVIONS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES AVIONS
TIR CONTRE AVIONS
LES EXPLOITS DE NOS AVIATEURS ET DES AVIATEURS ALLIÉS
POUR LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE

AVEC 24 ILLUSTRATIONS

TROISIÈME MILLE

ɪBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS | NANCY — RUE DES GLACIS, 18

ɔ8 *Prix : 90 centimes*

LA GUERRE AÉRIENNE

DU MÊME AUTEUR

L'Aviation pendant la guerre. 6e édition, 1916. Un volume in-8, avec 93 photographies, schémas et silhouettes des avions et hydravions les plus récents des armées belligérantes. . . . . **3 fr. 50**

(Berger-Levrault, éditeurs.)



Biplan Caudron bi-moteur, en plein vol.

Ces appareils permettent à la fois les reconnaissances (vision totale), la chasse (vitesse : 135 kilomètres à l'heure) et le bombardement (charge utile : 500 kilos).



Le nouveau biplan tri-moteur (300 HP) Caproni-Esnault-Pelterie.

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1916

11e Série 5' d

G. CROUVEZIER

LA GUERRE AÉRIENNE

Le Rôle de la cinquième Arme

HISTORIQUE DE L'AVIATION
L'AVIATION DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
ROLE DE L'AVION — CATÉGORIES D'AVIONS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES AVIONS
TIR CONTRE AVIONS
LES EXPLOITS DE NOS AVIATEURS ET DES AVIATEURS ALLIÉS
POUR LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE

AVEC 24 ILLUSTRATIONS

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS | 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS
NANCY | RUE DES GLACIS, 18

1916

LA GUERRE AÉRIENNE

CHAPITRE I

HISTORIQUE DE L'AVIATION

Avant les expériences de Wilbur et Orville Wright, en 1908, l'aviation était presque inconnue en France. Qui eût dit que six ans après elle deviendrait une des armes importantes du combat dans la lutte gigantesque actuelle ! A part quelques essais, d'ailleurs sans grands résultats, dont le principal fut le vol de Santos-Dumont, à Bagatelle, en 1906 (220 mètres, à quelques mètres de hauteur), et qui ne peut guère être considéré que comme un bond, l'aéroplane [ou avion (1)] était encore, lors de l'arrivée des Wright en France, considéré comme une utopie. Cependant, bon nombre de chercheurs avaient la ferme conviction que le problème était soluble.

Les expériences des frères Wright au camp d'Auvours étaient à peine commencées que Blé-

(1) Le Français Ader, en 1893, avait construit et expérimenté un aéroplane, qu'il avait appelé *avion*. Ce terme est devenu courant au cours de ces dernières années.

riot, le 13 octobre 1908, puis Henri Farman, le 30 octobre 1908, effectuaient, chacun sur des appareils de leur invention et bien différents tous deux du système américain, les premiers vols de ville à ville. Ces deux exploits, bien qu'accomplis sur une distance moindre et d'une durée moins grande que ceux réalisés par les Wright à la même époque, n'en étaient pas moins un triomphe, car le départ et l'atterrissage s'étaient faits n'importe où, sur un terrain quelconque, tandis que Wilbur Wright avait besoin d'un système compliqué de rail et de pylône pour pouvoir prendre son essor. Cet inconvénient et d'autres encore (tels que celui de la commande de profondeur à l'avant, qui a été reconnue défectueuse et dangereuse) firent abandonner le système Wright, dit américain.

L'aviation, née en France, car tous ses précurseurs sont des Français (Wright lui-même a conçu son biplan d'après les formes préconisées par le Français Chanute), devait y prendre rapidement une grande extension. Notre pays est et a toujours été le berceau des inventions. Notre esprit ingénieux et fertile, entraîné par ces premières expériences, se donna libre cours, et une pléiade d'ingénieurs et de constructeurs s'adonna à la conquête de l'air.

Nous ne voulons pas énumérer (cet ouvrage n'y suffirait pas) les nombreux appareils expérimentés, ni citer leurs valeureux pilotes. Ils furent légion, et leurs exploits se succédèrent et progressèrent avec une rapidité extraordinaire [1]. Ces expériences, exécutées au grand jour, eurent un

(1) De décembre 1909 à décembre 1912, soit en trois ans, le record d'altitude en aéroplane est passé de 453 mètres (Latham) à 5.610 mètres (Garros).

Premières expériences en planeur biplan.



Le monoplan Blériot XI bis qui traversa la Manche
le 25 juillet 1909.

immense retentissement chez nos voisins, et la traversée de la Manche, par Blériot, le 25 juillet 1909, en consacrant définitivement l'aéroplane, donnait au monde un engin nouveau, dont on songea naturellement à utiliser les remarquables qualités.

Les pays voisins s'émurent pour leur sécurité. Désormais, avoir assuré ses possessions sur terre par une armée, sur mer par une flotte, ne suffisait plus ; il fallait songer à faire respecter ses frontières aériennes : à l'aéroplane, il fallait opposer l'aéroplane, puisqu'il n'existait aucun autre engin capable de défendre la route de l'air. La flotte aérienne devint une réalité, et, de suite, toutes les grandes puissances furent hantées par le souci d'une armée d'aéroplanes, qui leur assurerait la suprématie de l'air.

La conquête de l'air est la dernière victoire de l'homme sur la nature : c'est une victoire chèrement payée.

. . . .

La route de l'éther de tombeaux se jalonne ;
Mais toujours on avance, et le progrès est sûr.
Plus dur fut le combat, plus belle est la couronne.
Encore quelque effort, et le triomphe est mûr.

. . . . (1).

La pesanteur a pris maintes fois sa revanche sur l'audacieux qui osait lutter contre elle, et les sacrifices furent particulièrement lourds pour la France.

Les nombreux concours et circuits internationaux provoquèrent une vive émulation parmi les constructeurs, qui améliorèrent sans cesse leurs appa-

(1) Olivier Bournac, *Vers les Astres.*

reils. A l'étranger aussi, on commençait à étudier sérieusement l'aéroplane. Après avoir acheté des appareils français, les Allemands, d'abord, puis les Anglais et les Russes, établirent des appareils suivant leurs propres conceptions.

Dans le chapitre suivant, nous indiquerons, avec leurs principales caractéristiques, les différents appareils des puissances belligérantes.

CHAPITRE II

L'AVIATION DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES

EN FRANCE

L'aéronautique française a été créée par le général Roque et organisée par le général Hirschauer, qui ont fait de notre aviation un modèle du genre, à la fois pour l'organisation et pour les services que nous rendent journellement nos aviateurs.

L'aéronautique comprend : 1° l'*aérostation* (ballons captifs, dirigeables, trains de cerfs-volants); 2° l'*aviation* (avions et hydravions).

Les centres d'aviation, créés aux endroits les plus propices et dont l'emplacement avait été étudié judicieusement avant la guerre, sont assez nombreux et pourvus de vastes hangars, d'ateliers, de magasins d'accessoires et pièces de rechange, d'un laboratoire de photographie, d'un poste de télégraphie sans fil et surtout d'un matériel roulant automobile fort bien compris, composé de camions-tracteurs, voitures-bâches, chariots, remorques et voitures automobiles rapides (torpedos) de liaison. Tout le matériel roulant constitue le *train de combat* et assure le déplacement rapide des appareils et du personnel et la transmission des ordres ou des

résultats des missions dans un laps de temps minimum. Les avions neufs sont fournis par la *réserve générale* où sont également exécutées les réparations importantes de moteurs ou de voilure.

Il existe, pour l'instruction et l'apprentissage des pilotes, trois écoles militaires : Saint-Cyr, Pau et le camp d'Avor.

En outre, de nombreuses escadrilles sont réparties dans les centres militaires de l'Est : Belfort, Le



Une escadrille complète et son matériel roulant.

Au premier plan, voitures du commandant et des pilotes ; derrière, camions-tracteurs remorquant les fourgons contenant les avions démontés.

Bourget, Dijon, Épinal, Nancy, Toul, Verdun et le camp retranché de Paris.

Les avions, répartis par escadrille (l'escadrille compte six appareils), sont vérifiés et entretenus par un personnel spécialisé (mécaniciens, menuisiers, ajusteurs, etc.). L'escadrille est formée d'appareils du même type et de même marque.

Les avions français portent tous les indications suivantes, qui sont peintes sur le gouvernail de direction : 1° une initiale, qui indique la marque

de fabrique; 2° l'indication en kilos de la charge maxima (poids total des pilote et passagers,



Monoplan de chasse Morane-Saulnier (vu d'arrière).

bombes, approvisionnements, essence et huile); 3° un numéro d'ordre.

Nous indiquons ci-après les lettres choisies pour désigner les principaux avions et hydravions français :

MARQUES	LETTRES	MARQUES	LETTRES
Blériot	BL	Farman Henri	HF
Borel.	Bo	Farman Maurice . . .	MF
Bréguet.	B	Morane-Saulnier . . .	MS
Bréguet-Michelin . .	BM	Nieuport	N
Caproni-Esnault-Pelterie	CEP	Ponnier.	P
Caudron	C	Voisin	V
Deperdussin.	D	Voisin de bombardement	VB
Dorand	DO		

Quant aux escadrilles, elles sont également numérotées. On dit, par exemple : Escadrille C 42.

Le corps des aviateurs est composé d'officiers, de sous-officiers et de soldats, appartenant à toutes armes, comprenant en outre tous les aviateurs civils du temps de paix. Chaque escadrille a six pilotes (dont un chef d'escadrille tenu de voler), six observateurs et douze mécaniciens.

Pendant les six premiers mois de guerre, l'ensemble des escadrilles anciennes et nouvelles a exécuté environ 10.000 reconnaissances, correspondant à plus de 18.000 heures de vol. Ces vols cumulés représentent une distance parcourue de plus de 1.800.000 kilomètres (quarante-cinq fois le tour de la terre). A titre de comparaison, nous indiquerons qu'en 1912, la totalisation des distances parcourues pendant l'année atteignait 507.900 kilomètres, soit, pour six mois, environ 250.000 kilomètres. Par ces seuls chiffres, on voit l'effort accompli par nos aviateurs depuis la déclaration de guerre.

Dans les tableaux résumés ci-après nous donnons les différents types d'avions et hydravions français. Les noms en caractères gras sont les appareils particulièrement utilisés.

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES PRINCIPAUX AVIONS ET HYDRAVIONS FRANÇAIS

I — AVIONS

MARQUE	TYPE	ENVERGURE	LONGUEUR	SURFACE portante	PUISSANCE du moteur	VITESSE à l'heure	CHARGE utile
		m	m	m²	HP	km	kg
Astra.	biplan	12,30	10,60	48 »	70	90	400
Blériot XI-2. . . .	mono	10,35	8,40	19 »	80	115	250
Bréguet.	biplan	15,40	8,60	40 »	120	110	450
Bréguet-Michelin .	biplan	—	—	—	200	120	800
Caproni - Esnault - Pelterie.	biplan	22,00	20,35	—	300	115	1.100
Caudron	biplan	11,48	7,42	28 »	80	100	275
Caudron bi-moteur	biplan	16,50	7,10	38 »	2 de 80	135	500
Clément-Bayard. .	mono	10,20	6,30	16 »	80	125	275
Deperdussin . . .	mono	8,70	6,00	13 »	50	128	250
Dorand.	biplan	16,00	10,50	50 »	87	105	400
Farman (Henri). .	biplan	13,60	8,06	42 »	80	105	275
Farman (Maurice).	biplan	16,13	9,48	60 »	80	108	305
Goupy	biplan	7,00	7,00	27 »	50	95	250
Morane-Saulnier ..	mono	9,20	6,35	14 »	50	130	250
Nieuport	mono	12,32	8,26	25 »	50	120	150
Nieuport	biplan	7,00	7,00	18 »	80	140	250
Paulhan	mono	8,60	8,60	12,50	50	130	200
Ponnier.	mono	10,75	7,10	18 »	50	115	180
Ponnier	biplan	8,00	6,00	20 »	50	110	160
R. E. P.	mono	10,25	6,74	20 »	60	105	200
Schmitt.	biplan	17,50	10,00	49 »	160	105	450
Voisin	biplan	15,00	8,00	50 »	130	110	450
Zodiac	biplan	15,00	11,75	32 »	50	95	50

II — HYDRAVIONS

MARQUE	TYP	ENVERGURE	LONGUEUR	SURFACE portante	PUISSANCE du moteur	VITESSE à l'heure	CHARGE utile
		m	m	m²	HP	km	kg
Blériot	mono	11,05	9,00	24	80	110	250
Bréguet.	biplan	15,40	11,50	46	200	125	350
Caudron	biplan	12,76	8,10	32	80	90	275
Clément-Bayard.	biplan	17,00	10,20	50	115	85	400
Deperdussin . .	mono	8,70	6,00	13	50	128	250
Farman (Henri).	biplan	15,50	10,00	60	80	95	300
Farman (Maurice) .	biplan	19,00	12,00	70	100	100	400
Nieuport	mono	12,32	8,26	25	50	120	150
Voisin	biplan	15,00	8,00	50	140	110	450

EN ALLEMAGNE (1)

Durant ces dernières années, l'Allemagne a fait d'immenses efforts, consenti d'importants sacrifices financiers pour s'assurer la première place en aviation.

Puissamment aidée par le Gouvernement et aussi



Monoplan allemand Rumpler « taube », en plein vol.

par la souscription nationale (7.200.000 marks), l'aéronautique militaire allemande a pu mettre en ligne, à la déclaration de guerre, un nombre d'avions sensiblement égal, peut-être même un peu supérieur au nôtre. Les aéroplanes étaient fournis par les marques suivantes : *A. G. O.*,

(1) L'Allemagne et l'Autriche-Hongrie utilisent des appareils des mêmes marques, et leurs aviations respectives peuvent être, pour l'étude, réunies en une seule. L'Autriche ne possède d'ailleurs qu'une seule fabrique d'aéroplanes, celles des monos Etrich, employés par ces deux pays.

Albatros, Aviatik, Etrich, D. W. F., Gotha, Halberstadt, L. V. G., Kondor, Otto, Pfeil et *Rumpler*. Presque tous sont munis du moteur fixe 100 HP Mercédès, à circulation d'eau, qui est un moteur lourd et encombrant, mais régulier. Quelques avions seulement sont munis de moteurs Daimler, Argus, N. A. G. et Hilz.

On a pu remarquer que les avions allemands étaient très rapides, grâce à leur puissant moteur et aussi à leur faible charge utile. A ce sujet, il faut remarquer que l'utilisation d'un moteur puissant peut avoir deux buts : ou bien on utilise l'excès de force du moteur pour enlever du poids (passagers et explosifs), ce qui s'obtient en augmentant l'incidence et la surface des plans, mais ce qui diminue la vitesse ou la maintient stationnaire, — ou bien l'excès de force du moteur sert à augmenter la vitesse sans permettre d'emporter une forte charge. Ce dernier système a été adopté par les Allemands ; le Gouvernement allemand, après sélection judicieuse, ne commande plus que trois sortes d'appareils, tous biplans : Albatros, Aviatik et L. V. G.

Tout récemment, on a vu réapparaître un monoplan *Fokker* dont on a considérablement exagéré les qualités, sur lesquelles d'ailleurs nous reviendrons plus loin.

Au point de vue matériel accessoire, l'Allemagne n'a pas craint de dépenser largement. Les hangars, stations et terrains d'atterrissage sont nombreux et bien agencés. Mais les pilotes aviateurs sont d'une valeur nettement inférieure aux nôtres et aux Anglais. Il faut, pour faire un bon pilote, un tempérament particulier et des qualités spéciales : sang-froid, prudence, courage, énergie et endurance.

La plupart des bons pilotes que l'Allemagne

possédait à la déclaration de guerre ont été tués ou faits prisonniers, parce que ce sont les seuls qui aient affronté les « risques du métier ».

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX AVIONS ALLEMANDS

MARQUE	TYPE	SURFACE	ENVERGURE	LONGUEUR	FORCE	MARQUE du moteur	VITESSE	POIDS A VIDE
		m^2	m	m	HP		km	kg
A. E. G.	biplan	50 »	16,60	10,70	120	Argus	100	600
A. G. O.	biplan	36 »	13,90	8,00	150	Mercédès	110	650
Albatros	mono	35 »	14,60	10,20	100	—	105	600
Albatros	biplan	36 »	12,80	8,00	100	—	115	580
Aviatik	biplan	45 »	14,00	8,00	100	—	100	670
D. W. F.	mono	35 »	16,00	9,00	100	—	115	550
D. W. F.	biplan	46 »	17,00	9,00	100	—	105	600
Etrich	mono	38 »	14,30	9,85	100	—	105	550
Fokker	mono	20 »	12,00	7,25	100 80	Mercédès Oberursel	125 115	300
Gotha	mono	28 »	14,00	8,50	100	Mercédès	120	600
Gotha	biplan	31 »	12,25	8,00	80	Gnome	110	—
Halberstadt	mono	31 »	14,45	9,00	100	Mercédès ou Argus	140	500
Kondor	mono	35 »	14,00	9,80	100	Mercédès	120	600
L. V. G.	biplan	44 »	14,50	9,50	100	—	105	760
Otto	biplan	45 »	14,90	10,80	100	—	110	580
Rumpler	mono	29 »	14,00	8,20	100	—	120	650
Rumpler	biplan	38 »	13,00	8,65	100	—	105	650
Union (flèche)	biplan	32 »	10,00	7,00	120	—	110	550

Monoplan Etrich, entièrement métallique, un des derniers modèles créés par les Allemands.

Ce taube, atteint par l'artillerie russe, est tombé dans les marais. Les passagers, qui n'étaient que blessés, ont été trouvés morts de froid.

EN ANGLETERRE

Avant la guerre, on croyait volontiers que l'aviation en Angleterre était moins développée qu'en France. C'était là une grosse erreur, et les hardis exploits des pilotes anglais ont montré à la fois la valeur de ceux-ci et la qualité de leurs appareils.

La *Royal Aircraft Factory* (le Châlais-Meudon anglais) a construit de nombreux appareils expérimentaux, qui ont permis de doter l'armée anglaise d'avions remarquablement étudiés, dont la fabrication et le rendement sont parfaits. Tout dans ces avions, jusqu'au profil des montants (1), a été étudié minutieusement pour permettre une très grande vitesse et un grand écart entre les vitesses maxima et minima. En particulier, dans les hydroaéroplanes anglais, la construction très robuste atteste une parfaite connaissance de la mer.

Le gauchissement est supprimé et remplacé par des ailerons, ce qui évite l'affaiblissement des ailes, qui sont ainsi fixes au lieu d'être souples.

Au point de vue valeur des appareils, nous devons reconnaître que les Anglais sont passés maîtres dans la construction des avions. Leurs pilotes, on l'a vu par les raids audacieux qu'ils ont effectués dans la mer du Nord (raid de Cuxhaven, en particulier) et sur les côtes de Belgique, sont habiles et endurants. Ce sont là deux qualités précieuses.

Les avions sont assez nombreux, presque tous biplans, sauf le monoplan *Blackburn*, et pourvus de moteurs puissants, la plupart rotatifs.

---

(1) D'après les expériences de M. Eiffel, suivant la section des montants, la résistance peut être abaissée de 19 % à 3,5 % de la résistance totale.

Mais c'est surtout l'aviation navale qui a été développée en Angleterre. Les nombreuses incursions de zeppelins ont été la principale cause de ce développement. Lord Winston Churchill, dans un de ses discours à la Chambre des Communes, en mars 1914, disait : « Bien que l'hydroaéroplane ne soit pas encore sorti de la phase expérimentale, un grand avenir s'ouvre devant lui, et l'on ne peut douter qu'il ne soit déjà en état de remplir un rôle très important dans les opérations de guerre : c'est ce dont nous avons pu nous convaincre dans les dernières manœuvres navales où les trois avions embarqués sur l'*Hermès,* tout comme ceux de l'*Hibernia,* ont rendu aux escadres de si grands services pour les reconnaissances (1). »

Il existe de nombreuses stations côtières : Calshot, île de Grain, Harwick, Yarmouth, Cromarty, Cleethorpen (près Grimsby), Kirkealdy, Filey. Toutes ces stations ont de vastes hangars, un outillage, des canons de défense verticaux Wickers ou Armstrong. Chaque station comprend 11 « seaplanes », des types légers et types lourds. munis de postes de télégraphie sans fil, permettant la réception des radiotélégrammes en plein vol.

(1) Les pilotes de la marine anglaise ont couvert, en 1913, plus de 200.000 kilomètres, avec un seul accident mortel.

CARACTÉRISTIQUES COMPARÉES DES PRINCIPAUX AVIONS ANGLAIS

MARQUE	ENVERGURE	VITESSES maxima	VITESSES minima	POIDS A VIDE	FORCE	MOTEUR
	m	km	km	kg	HP	
Avro. . Hydravion biplan	10,80	130	50	430	80	Rotatif
Avro. . Biplan de combat	13,20	105	55	460	80	—
Avro. . Biplan scout.	7,80	160	50	310	80	—
Blackburn, monoplan	11,40	110	65	400	80	—
Bristol . Biplan de combat	11,25	100	55	450	80	—
Bristol . Biplan scout.	6,60	150	75	280	80	—
Curtiss, hydravion biplan	11,27	110	60	460	100	Curtiss fixe
F. B. A., hydravion biplan	12,10	100	55	500	100	Rotatif
Grahame-White, biplan de combat .	11,10	130	5	460	100	—
Hamble River Luke and C°, hydravion biplan	18,00	105	55	600	150	N. A. G. fixe
Samuel White, hydravion biplan . .	18,90	115	55	1.200	200	Salmson, fixe
Sopwith, hydravion biplan	16,20	115	65	1.000	200	—
Vickers. Biplan de combat	11,40	115	65	385	100	Rotatif
Vickers. Biplan scout.	7,50	160	70	275	100	—

EN RUSSIE

La Russie, quoique venue très tard à l'aviation, n'en possède pas moins une flottille importante, composée pour la plus grande partie d'avions français biplans et monoplans, mais fabriqués en Russie aux usines Russo-Baltique, Dux et autres, et de vastes biplans dus à l'ingénieur russe Sikorsky.

L'*Ilia-Mourametz*, c'est ainsi que l'inventeur a baptisé son appareil, est un biplan de 37 mètres d'envergure, 25 mètres de longueur et 182 mètres carrés de surface portante; il est actionné par quatre moteurs : 2 de 160 HP et 2 de 200 HP, commandant chacun une hélice, soit 720 HP. Même si un moteur s'arrête, la marche de l'avion ne subit aucune perturbation. Cet appareil peut s'élever sans roues, sur patins, par temps de neige, et c'est là un grand avantage en Russie. La charge utile est de 1.500 kilos, ce qui représente un poids considérable d'explosifs. Le fuselage, constitué par une cabine fermée et vitrée, peut contenir jusqu'à dix-huit personnes, et les pilotes peuvent se relayer. Le seul inconvénient de cet appareil est d'être relativement lent (90 km à l'heure).

Au moment de la déclaration de guerre, la Russie pouvait posséder au moins 600 avions de modèles français et une quinzaine d'Ilia-Mourametz.

Les Allemands auraient, paraît-il, construit aussi un biplan Aviatik *kolossal*, muni de quatre moteurs Maybach de 225 HP chacun, et un appareil de ce genre aurait tenté de survoler Londres le 24 décembre dernier. Ce biplan géant pourrait emporter quatre passagers, du combustible (essence et huile) pour dix heures de marche, et 1.000 kilos d'explosifs.

EN ITALIE

L'Italie est le premier pays ayant déjà utilisé pour la guerre les aéroplanes (en Tripolitaine). Etant donné le peu d'appareils dont disposait l'armée italienne au cours de la campagne italo-turque, les expériences tentées ne furent pas assez suivies pour permettre d'en tirer un enseignement précieux. Cependant, de nombreuses reconnaissances furent réalisées, quelquefois avec lancement de bombes.

Le Gouvernement italien possédait alors des appareils de marques françaises, anglaises et allemandes. Depuis, quelques constructeurs italiens ont mis au point des monoplans et des biplans de leur invention.

Actuellement, voici les principales marques utilisées : *Asteria, Blériot, Bréguet, Bristol, Caproni, Etrich, H.* et *M. Farman, Nieuport* et *Savary*.

L'Italie, tout comme l'Angleterre, par sa situation géographique, a compris que l'aviation maritime (hydroaéroplanes) devait être particulièrement développée.

Dans une étude très intéressante sur l'aviation navale, le lieutenant de vaisseau italien Calderara disait, en parlant de l'hydravion : « Sa vitesse, qui est déjà très supérieure à celle des navires les plus rapides, ne connaîtra sur mer aucun de ces obstacles qui, sur terre, peuvent éventuellement l'empêcher de se développer entièrement. Si donc tout l'avenir de l'aviation n'est pas sur mer, une bonne partie de cet avenir est sur les flots. »

Les avions sont, en Italie, répartis par escadres. Chaque escadre, qui compte, suivant son usage, un nombre différent d'avions, est composée le plus souvent d'appareils du même type.

Chaque corps d'armée possède une escadre de



Aviateurs italiens, armés d'une carabine à répétition, avant leur envol, sur monoplans français Nieuport.

douze appareils. D'autres escadres, dites légères, comprenant six avions, sont réparties à la frontière. Ce sont des escadres de couverture. Enfin, il existe encore des escadres (4 à 6 appareils chacune) affectées au service de la cavalerie et de l'artillerie.

Au point de vue organisation des services, il y a une grande analogie entre l'aéronautique française et l'aéronautique italienne.

Les aviateurs peuvent être civils ou militaires. Après avoir reçu une instruction théorique, ces derniers passent successivement les épreuves du brevet de l'Aéro-Club italien, puis celles du brevet militaire (vol de 150 kilomètres à une altitude

moyenne de 1.000 mètres). Les observateurs sont pris, de préférence, parmi les officiers d'état-major.

Les multiples expériences effectuées pendant ces dernières années sur les terrains d'aviation d'Aviano et de Turin, en particulier, et les raids audacieux sur mer accomplis par les officiers de marine et les aviateurs italiens, ont montré combien l'Italie attachait de prix au développement de la cinquième arme, tant sur terre que sur mer.

CHAPITRE III

ROLE DES AVIONS — CATÉGORIES D'AVIONS

Suivant leur rôle, les avions sont classés en trois catégories :

1° *Les avions de bombardement,* pour l'attaque ;
2° *Les avions de chasse,* pour la défense ;
3° *Les avions dits « de corps d'armée »*, pour les repérages de tir.

Avions de bombardement.

Ces avions sont constitués en groupes; un groupe de bombardement comprend plusieurs escadrilles, composées d'appareils de même type (Voisin, Bréguet ou Caproni-Esnault-Pelterie).

Ils ont pour mission de détruire les voies ferrées, dépôts de munitions, et, en général, effectuent tous bombardements à grande distance et nécessitant une attaque en masse. Ils sont subordonnés au grand quartier général, qui leur indique les objectifs à atteindre.

Ces avions peuvent cependant opérer séparément. Voici d'ailleurs le fac-similé d'un compte rendu de

vol, tel que nos aviateurs sont tenus d'en dresser un à leur retour :

1er groupe
de bombardement.

—

ESCADRILLE V. B...

—

COMPTE RENDU

DE { BOMBARDEMENT
{ ....

Nom du pilote : Capt de M...
Nom du passager : Sergt S...
Heures { de départ : 6h50.
{ de retour : 10h30.
Altitude : 2.550 mètres.
Itinéraire : Dieulouard, Nomeny, Remilly, Saint-Avold. Saarbrück, Bensdorf, Dieuze, Lunéville.
Points bombardés : Usine au S. de Dieuze, points d'éclatement constatés.
Nombre et nature des projectiles : { 1 projectile de 155.
{ 1 — de 90.
Incidents : Moteur ayant des faiblesses régulières et menaçant de ne pas reprendre, d'où danger de descente sur le point. Vu 2 aviatiks vers Saar-Union. — Aperçu une fumée noire épaisse au-dessus des nuages S.-O. de Saarbrück.

A , le septembre 1915.

(Signature) R. J. DE M...

Il arrive assez souvent qu'un groupe de bombardement est attaqué par des avions ennemis. Le commandant de groupe indique alors, à l'aide de fusées lâchées de l'avion où il se trouve, la tactique et la formation à adopter par les autres avions français.

Il s'agit d'encercler, grâce au nombre d'avions français, les avions ennemis, puis de les mitrailler, tous les avions de bombardement possédant une mitrailleuse.

Biplan Voisin de bombardement, au départ.



Le même, en plein vol.

D'autre part, les Allemands effectuent fréquemment des feux de barrage avec leurs canons verticaux. Le commandant d'escadrille indique également, suivant la position de la ligne d'éclatements, la formation à adopter.

En outre, les groupes de bombardement sont fréquemment accompagnés d'avions de chasse.

Avions de chasse.

Ces avions ont non seulement pour mission d'attaquer les appareils ennemis, mais aussi de les empêcher de survoler nos lignes. Tandis que l'avion de bombardement peut être relativement lent, utilisant sa puissance au transport de la charge d'explosifs, l'avion de chasse, au contraire, doit être très rapide et « grimper » vite. Ce n'est que dans ces conditions qu'un avion de chasse peut livrer combat avec avantage. Nous possédons, en France, des appareils susceptibles de faire 150 kilomètres à l'heure. Leur tactique est de se placer sous l'appareil ennemi, puis de le mitrailler.

Avions de reconnaissance.

Enfin le troisième rôle de l'avion, rôle qui à lui seul suffirait pour en faire une arme redoutable, c'est le *repérage de tir* par l'*avion de reconnaissance.*

Des escadrilles dites de corps d'armée, constituées par des appareils biplans demi-rapides, ont pour mission de repérer, suivant les instructions du commandant de l'armée à laquelle elles appartiennent, l'emplacement des batteries ennemies, les mouvements de troupes, et aussi d'indiquer à nos batteries les rectifications de tir nécessaires. Le tout se



Biplan Nieuport de chasse, avec mitrailleuse sur le plan supérieur.

fait soit par un code de fusées lancées de l'avion, soit par un poste de T. S. F. avec antenne pendante, à contrepoids permettant à l'observateur



Biplan de reconnaissance Caudron bi-moteur avec mitrailleuse à l'avant.

de communiquer avec les batteries. C'est là non seulement une mission importante, mais c'est aussi la plus difficile et la plus dangereuse, car les pièces ennemies ne se laissent pas repérer aisément, masquées qu'elles sont par des branchages; souvent même de faux canons sont placés pour tromper les aviateurs, qui, eux, sont exposés au feu continu des batteries spéciales cherchant à abattre cet observateur indiscret.

Rôle de l'hydravion.

La question de l'utilisation pratique de l'avion dans la marine est assez complexe. Il est évident,



Monoplan Morane-Saulnier à mitrailleuse, piloté par Gilbert.

Notre héros national est actuellement prisonnier en Suisse, où il a dû atterrir à la suite d'une panne, au retour d'une reconnaissance.

nous en dirons d'ailleurs plus loin les raisons, que l'avion, opérant en liaison avec les bâtiments de guerre, leur sera d'une grande utilité. Les constructeurs d'aéroplanes ont donc étudié un appareil,



L'hydravion reposant sur ses flotteurs.

appelé hydravion, susceptible de prendre son vol en mer et de revenir à flot. Deux systèmes se sont présentés : le premier, très simple, le remplacement des roues par des flotteurs ; le second, l'établissement, sur un canot, d'un véritable aéroplane, mais avec passagers, moteur et combustible dans le canot.

Les deux systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients, et, actuellement encore, il existe

dans les différentes organisations aéronautiques navales des hydravions des deux types.

Au point de vue offensif, l'hydravion peut aller



En plein vol (3 passagers à bord).

avant le combat reconnaître les forces de l'ennemi, découvrir des sous-marins, la visibilité au-dessus de la mer en profondeur étant, on le sait, très grande. L'hydravion peut bombarder des sous-marins avec succès ; je n'irai pas jusqu'à dire qu'il

peut attaquer les gros navires, quoique la chose ne soit pas impossible. Ceux-ci ont en effet une ceinture de protection qu'une bombe d'avion ne saurait détériorer, mais par contre il existe sur le pont d'un navire de nombreux orifices, qui, s'ils ne peuvent être atteints par le feu latéral de l'artillerie adverse, peuvent l'être au contraire par le tir aérien.

Si l'hydravion est muni d'un poste de T. S. F. ou, plus simplement, si le pilote se sert de fusées pour tracer dans l'air des signes conventionnels, la présence et la direction des forces ennemies seront rapidement indiquées, ainsi que les sous-marins et les mines sous-marines. Que faut-il demander de plus à l'hydravion? Il peut encore effectuer, — les raids d'aviateurs anglais à Cuxhaven l'ont prouvé, — des bombardements de stations côtières en liaison avec les navires dont il est l' « œil ». De plus, au point de vue défensif, l'hydravion peut éloigner les appareils aériens ennemis et les empêcher de repérer les forces dont il dépend; il peut aussi rectifier le tir, le rendre précis.

Au point de vue visibilité en hydravion, il nous suffira de dire, pour faire apprécier la valeur de cet « œil » du navire, que, si sur le pont d'un croiseur on peut voir par beau temps la fumée d'un vaisseau ennemi à 25 kilomètres, un hydravion à 200 mètres de hauteur permettra de voir à 50 kilomètres, et, à 1.000 mètres de hauteur, à 150 kilomètres environ.

Particulièrement en cas d'attaque des côtes par tir indirect, l'hydravion est indispensable pour régler le tir. C'est ce qu'ont fait les cuirassés français et anglais lorsqu'ils ont bombardé, du golfe de Saros, la côte européenne des Dardanelles par-dessus la presqu'île de Gallipoli.



Hydravion biplan Sopwith (en plein vol).

CHAPITRE IV

EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES AVIONS

Pour le combat offensif ou défensif, les avions utilisent différents engins dont nous allons résumer les caractéristiques.

1° *Bombes et fléchettes.*

Les aviateurs utilisent des bombes et torpilles aériennes de différents modèles, causant, bien entendu, des dégâts d'autant plus grands que l'engin est plus puissant. Elles peuvent être à shrapnells ou incendiaires. Étant donné leur poids, les avions ne peuvent en emporter que quelques-unes à chaque vol, aussi les aviateurs doivent-ils user de ces engins avec parcimonie; l'adresse est donc l'élément principal. Disons, en passant, qu'une bombe jetée d'un aéroplane ne tombe pas verticalement et par suite n'éclate pas exactement au-dessous du point de lancement. La bombe conserve, pendant quelques instants, la vitesse acquise par l'avion, suivant un principe bien connu, et ne tombe verticalement que lorsque cette attraction devient nulle et est remplacée par celle de la pesanteur.

La destruction des voies ferrées, des ponts, des bâtiments militaires, des gares, constitue pour les aviateurs une tâche importante et dangereuse, mais dont la réussite peut avoir d'heureuses conséquences. D'autre part, lorsqu'un avion est signalé, l'ennemi cherche à cacher tout ce qu'on pourrait distinguer. Il se livre au « maquillage », place ses troupes contre la lisière des bois, fait modifier la direction des convois ; l'artillerie cesse le feu et se masque. L'aviateur n'en a que plus de difficultés pour distinguer le réel du « truqué ».

En ce qui concerne les bombes utilisées, voici quelques indications sur les modèles les plus courants. Les Allemands se servent surtout de bombes au picrate, en forme de poire, et dont les parois contiennent les shrapnells. Leur bombe incendiaire n'est souvent qu'une simple masse explosive au choc, surmontée d'un bidon de pétrole. Quelquefois, comme c'est le cas pour les bombes de zeppelins, l'engin est entouré d'une corde résineuse qui s'allume et se déroule au moment de l'explosion.

La bombe anglaise Marten-Hale, du poids de 10 kilos, utilisée par nos alliés, donne plus de 200 éclats. Elle est aussi au picrate.

En France, on utilise trois sortes de bombes, ayant toutes trois une forme spéciale qui leur a fait donner le nom de torpille.

Le vent et les remous influent en effet considérablement sur la ligne de chute de ces projectiles, et, dans le but de leur assurer une bonne stabilité latérale, on leur a donné une forme allongée et pourvu l'extrémité d'ailettes. Notre obus de 90^{mm} pèse 14 kilos dont 8 de mélinite ; celui de 155^{mm}, 43 kilos, et celui de 220^{mm}, 130 kilos. Tous trois sont à la mélinite.

La charge d'obus est limitée par un poids mort

assez considérable représenté par le pilote et l'observateur, la mitrailleuse et ses accessoires se trouvant sur tous les avions de bombardement, et surtout le combustible du moteur, huile et essence. Les moteurs, en particulier les rotatifs, sont de gros consommateurs. A titre d'indication, disons qu'un moteur de 80 HP consomme 30 litres d'essence à l'heure, un moteur de 100 HP consomme 42 litres, un de 200 HP 75 litres à l'heure. Et les aviateurs emportent toujours largement l'essence nécessaire, car un vent debout ou de travers peut les obliger à voler, sur un grand trajet, souvent une heure de plus que le temps prévu.

D'autre part, depuis le début de la guerre, nos aviateurs utilisent des fléchettes ; ce sont des baguettes d'acier de 12 centimètres de longueur, de 8 millimètres de diamètre et pesant 20 grammes, dont la tête est pointue et prolongée par une partie cylindrique, puis cruciale, jusqu'à l'autre extrémité. Ces fléchettes, jetées par cinquante, la pointe en haut, se renversent pendant leur chute, en se heurtant, ce qui les écarte les unes des autres. Elles arrivent, la pointe en bas, sur le sol, à une vitesse d'au moins 100 mètres à la seconde, ce qui représente une force de pénétration de 200 kilos environ. Les blessures occasionnées par ces fléchettes sont généralement mortelles. Elles percent facilement les casques d'acier ou de cuir bouilli, et un général allemand a eu le crâne traversé par un de ces engins ; la fléchette s'est arrêtée dans la gorge.

Fléchette (grandeur naturelle).

Cinq mille fléchettes pèsent 100 kilos. Un de nos aviateurs, le lieutenant Mezergues, a jeté jusqu'à 5.500 fléchettes et 18 bombes dans la même journée.

Les Allemands, selon leur habitude, ont recueilli de ces fléchettes et en ont fait fabriquer. Leurs avions en jettent, maintenant, qui portent cette inscription grossière, résumant à elle seule la « Kultur » teutonne : INV. FR. FAB. ALL. (Invention française, fabrication allemande).

2° *Canons et mitrailleuses sur avions.*

Presque tous nos avions sont munis, à l'heure actuelle, d'une mitrailleuse, dont le poids avec munitions est de 25 à 30 kilos. La mitrailleuse est en effet l'arme de protection indispensable à nos avions de reconnaissance et de bombardement. Elle est aussi l'instrument de combat de nos avions de chasse. La disposition d'une mitrailleuse sur les monoplans est particulièrement difficile, car le tir est impossible en avant de l'appareil en raison de l'hélice, qui se brise comme du verre au moindre choc. On a remédié par deux moyens à cet inconvénient : en surélevant la mitrailleuse pour permettre de tirer au-dessus du champ de rotation de l'hélice ; ou encore, en revêtant la partie centrale de l'hélice d'une plaque de blindage qui permet aux balles de glisser sans détériorer l'hélice. Mais ces deux procédés sont loin d'être idéaux. Le premier oblige le tireur à être surélevé et par suite exposé au feu de l'aviateur ennemi ; le second système dérive les balles. C'est une des raisons pour lesquelles on a abandonné le monoplan. Sur un biplan l'installation d'une mitrailleuse est plus facile.

D'autre part, un certain nombre d'avions de bombardement sont munis d'un canon de 37^{mm}, analogue au « pom-pom » anglais, et qui pèse avec ses munitions 150 kilos environ. Nos aviateurs, avec ce canon, effectuent des tirs efficaces, non seulement contre avions ou dirigeables ennemis, mais surtout contre des trains, dépôts de munitions, rassemblements de troupe. C'est un des plus



Biplan Caudron à mitrailleuse placée sur la partie supérieure avant.

récents perfectionnements apportés au combat aérien.

Un récent communiqué russe nous a appris le bombardement efficace des voies ferrées utilisées par les Allemands, ce qui montre que nos alliés ne sont pas en retard sous le rapport des avions armés. D'autre part, le communiqué français du 6 février 1915 indiquait : « Un de nos avions-canons a attaqué, au sud de Péronne, un drachen (1) ennemi, qui est tombé en flammes. » Voilà une des précieuses et multiples utilisations de cette nouvelle arme.

(1) Drachen, abréviation du mot allemand *Drachen-Ballon*, en français ballon-cerf-volant.

Appareils de visée.

Il existe à bord d'un certain nombre d'avions des appareils de visée, destinés à prévoir la trajectoire du projectile lâché par l'observateur.

Les projectiles d'avions ne sont pas, on le sait, lancés par un appareil propulseur, mais simplement lâchés au moment propice. Plusieurs forces, dont il est utile de connaître la valeur, agissent sur la chute du projectile. Tout d'abord le sens de la marche de l'avion et sa vitesse de déplacement par rapport au sol, ensuite l'altitude de l'avion au-dessus de l'objectif à atteindre. Voilà deux éléments très faciles à connaître. Mais un troisième facteur entre en cause, et c'est sur le procédé de détermination de ce dernier que varient les différents dispositifs de visée existant actuellement : il faut calculer le sens et la force de déplacement de l'air ambiant par rapport à l'appareil aérien. L'air peut, en effet, être troublé par le vent ou des remous, forces agissant sur la chute de l'obus. Voilà donc trois forces à connaître, dont la résultante est le problème de visée.

Nous n'avons pas l'intention de décrire les différents appareils de visée actuellement en usage. Il nous suffira de dire qu'ils reposent soit sur le principe de la chambre noire, avec objectif donnant réflexion sur une glace mobile dans son plan suivant l'évaluation de la vitesse de l'air ambiant et de la vitesse par rapport au sol, soit encore sur un jeu de miroirs combinés avec un anémomètre (1). De nombreux viseurs ingénieux ont été établis : les

(1) Hélice actionnant une aiguille sur cadran gradué et permettant de connaître la vitesse du vent.

uns donnent des résultats approchés seulement; d'autres sont trop fragiles et déréglables. Il convient cependant de citer le viseur Tailleferre, appliqué sur bon nombre d'avions anglais et italiens et qui vient d'être adopté en France, ainsi que le viseur monté sur les avions français de bombardement Bréguet-Michelin, dont la précision est, paraît-il, vraiment remarquable.

CHAPITRE V

TIR CONTRE AVIONS

Le tir contre avions est pour ainsi dire le problème du jour. Avec les instruments de tir : fusil, mitrailleuse, canon, dont on dispose, il est en effet, quel que soit le procédé choisi, très difficile d'atteindre un avion. Il y a à cela plusieurs raisons qu'il serait fort intéressant de développer, mais que nous ne pouvons que résumer pour ne pas sortir du cadre de cet ouvrage.

Le fusil a été établi pour le tir de niveau exclusivement, et non pour le tir oblique. Voilà, résumée, la principale cause de l'inefficacité de ce mode de tir. La hausse est en effet réglée pour modifier la visée suivant la distance, en tenant compte de la trajectoire, fonction de la vitesse initiale de la balle et de la pesanteur. Dans le tir oblique, l'influence de la pesanteur est modifiée et la vitesse de la balle l'est également ; chacun sait en effet qu'une balle porte beaucoup moins loin en hauteur qu'en tir horizontal. Dans le cas d'un tir contre avion se trouvant au-dessus du tireur, il n'y a pas, on le comprend, à tenir compte de la hauteur de l'objectif pour régler la hausse. La

hausse doit être nulle. Premier point sur lequel bon nombre de nos territoriaux, dans leur pétarade contre les taubes, ont pu faire erreur.

Enfin et surtout, point principal, le temps qui s'écoule entre le départ de la balle et son arrivée sur l'objectif est très appréciable, et comme cet objectif se déplace, plus il est haut, plus il parcourt de chemin pendant le trajet de la balle. En fait, voici ce qui se produit : on tire sur un objectif, et, quand la balle arrive pour l'atteindre, il a parcouru une certaine distance, dans le sens de sa marche. Cette distance peut-elle être calculée ? Certainement, en établissant un calcul très simple. Supposons que l'avion ennemi, volant à 1.800 mètres de haut, fasse 125 kilomètres à l'heure, et que l'on tire sur lui avec un projectile ayant une vitesse moyenne (sur 2.000 mètres) de 300 mètres à la seconde. La balle mettra donc 1.800 : 300 = 6 secondes pour atteindre l'objectif ; mais celui-ci se sera, pendant ces 6 secondes, déplacé de :

$$\frac{6 \text{ sec.} \times 120 \text{ km.}}{1 \text{ heure}}$$

ou

$$\frac{6 \times 120.000}{3.600} = 200 \text{ mètres.}$$

Le tireur aura donc visé 200 mètres en arrière.

Mais, connaissant ce qui précède, il devient aisé de préciser le tir et d'augmenter sérieusement les chances d'atteindre le but, surtout si l'on se sert d'une mitrailleuse. Les avions allemands ont des dimensions connues, en général 10 mètres environ d'envergure pour les monoplans, 14 mètres environ d'envergure pour les biplans. Donc, pour un biplan volant dans les conditions précédentes, il faudra

tirer à une distance de $\frac{200}{14} = 14$ fois l'envergure de l'appareil en avant du sens de la marche. Ces calculs ne sont bien entendu qu'approximatifs. Si la distance de l'avion à atteindre peut être appréciée



Avion allemand abattu aux Dardanelles.

au télémètre, les autres données ne sont qu'approchées; mais il n'en reste pas moins certain que les chances d'atteindre l'objectif augmenteront si on tient compte des considérations qui précèdent.

Il existe des canons spéciaux, dits verticaux, pour le tir aérien. Beaucoup sont montés sur automobiles, permettant ainsi le déplacement rapide et la concentration du tir. Les Allemands utilisent

des canons Krupp de 65 et de 75^{mm}. En France, on dispose de canons verticaux de 100^{mm}, et un grand nombre de 75 ont été établis sur plate-forme, avec rotation de la pièce sur un cône. Le procédé est assez pratique et permet ainsi d'utiliser sans transformation notre admirable canon, dont les obus à shrapnells encadrent et très souvent atteignent les avions ennemis.

CHAPITRE VI

LES EXPLOITS DE NOS AVIATEURS ET DES AVIATEURS ALLIÉS

Les aviateurs français et anglais ont été les premiers à exécuter de longs raids en Allemagne et en Belgique, pour y effectuer des bombardements importants.

Ludwigshafen, Trèves, Cuxhaven, Stuttgart, Carlsruhe, furent autant de succès pour nos aviateurs, qui détruisirent dans ces villes des objectifs militaires, voies ferrées, gares, casernes.

Nous avons rassemblé quelques récits concernant ces exploits, tout à la gloire de notre cinquième arme, dont les Allemands peuvent journellement apprécier la vitalité.

Bataille aéro-navale de Cuxhaven.

Londres, 26 décembre. — Un communiqué de l'Amirauté dit que sept hydravions, escortés d'une escadrille de croiseurs légers et de destroyers, ont bombardé les navires allemands ancrés dans la passe de Schilling, près de Cuxhaven.

Deux zeppelins et plusieurs taubes et sous-ma-

rins ont attaqué vainement l'escadrille anglaise, qui n'a subi aucun dommage, et a attendu le retour des hydravions en vue de la côte allemande, pendant trois heures.

Elle a pu réembarquer trois hydravions.

Quatre autres aviateurs ont été recueillis en mer. Nous avons coulé ensuite leurs appareils.

L'étendue des dégâts causés par les hydravions est inconnue, mais tous les projectiles ont été lancés sur des points qui présentent une importance militaire.

Les journaux reproduisent un télégramme de Berlin, mentionnant le bombardement des navires allemands et de l'usine à gaz de Cuxhaven.

Les hydros anglais, poursuivis par les zeppelins et les taubes, seraient repartis dans la direction de l'ouest.

Le *Times* publia les détails suivants :

Lors de l'attaque de Cuxhaven, les hydravions anglais, descendant aussi bas que leur sécurité le leur permettait, jetèrent des bombes.

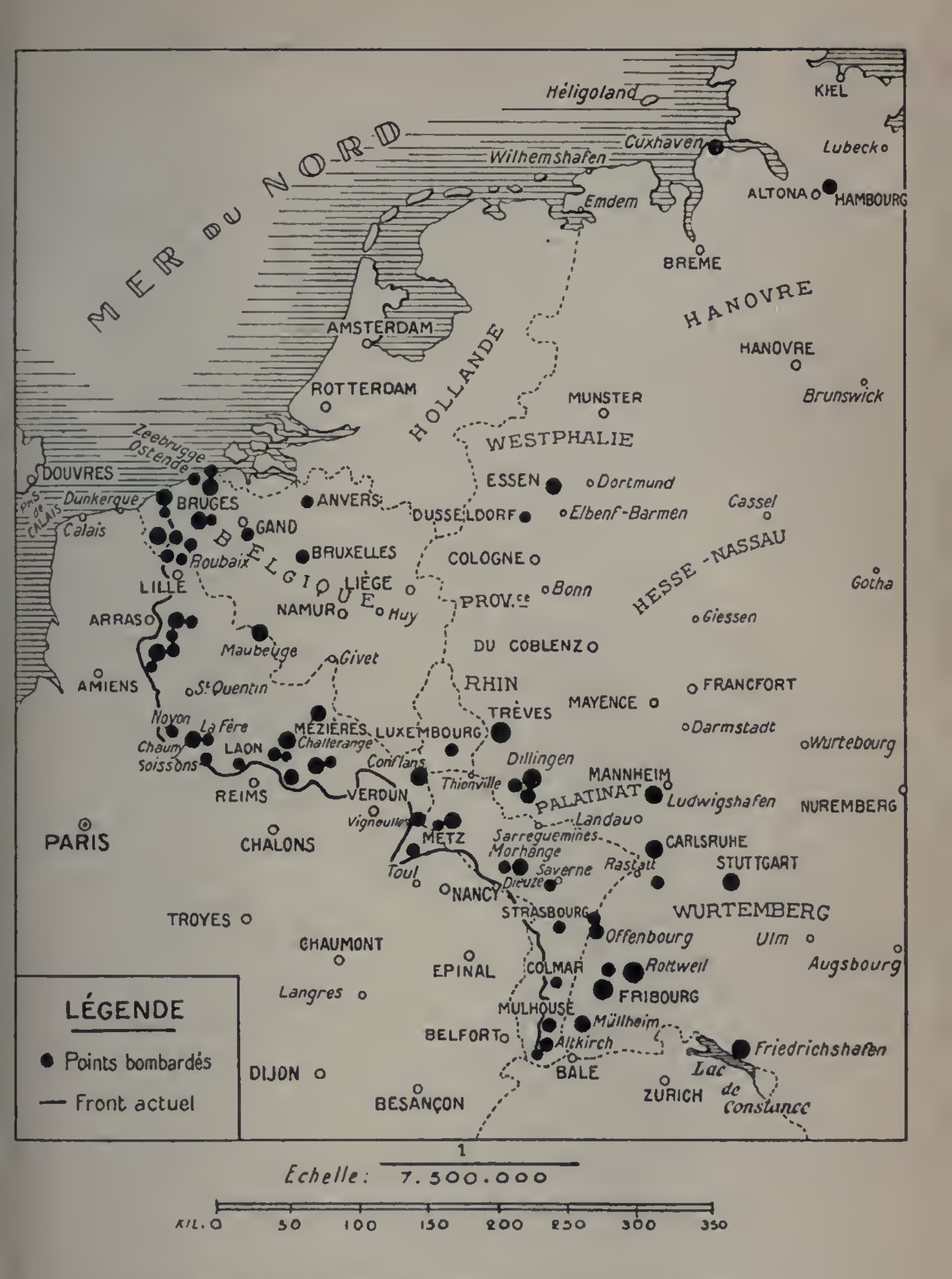
Malgré les démentis allemands, il existe d'excellentes raisons de croire que ces bombes causèrent des dégâts considérables; qu'un hangar et un dirigeable furent détruits et un certain nombre de zeppelins et de hangars fortement endommagés.

Cependant, les Allemands avaient découvert l'escadre britannique qui escortait les hydravions.

Ils envoyèrent deux zeppelins et plusieurs hydravions, ainsi que des sous-marins.

Les zeppelins lancèrent, les premiers, un nombre considérable de bombes sur les navires anglais, mais aucune n'atteignit son but.

Le feu des croiseurs anglais les obligea à fuir et atteignit sérieusement un zeppelin.



Les raids des aviateurs français et alliés en Allemagne.

Les sous-marins allemands attaquèrent ensuite, mais ils furent tenus en respect par une habile manœuvre des navires anglais.

Nos aviateurs, en regagnant leurs navires, furent alors attaqués par les forces aériennes ennemies. Sur sept, six rentrèrent indemnes.

Malgré les allégations allemandes, tous les navires britanniques regagnèrent leur base navale, sans perte d'hommes ni de matériel.

Raid aérien sur Ludwigshafen.

27 mai. — Une de nos escadrilles, composée de dix-huit avions, portant chacun 50 kilos de projectiles, a bombardé ce matin, à Ludwigshafen, l'usine de produits chimiques Badische Anilin, l'une des plus importantes fabriques d'explosifs de toute l'Allemagne.

Les résultats constatés ont prouvé l'efficacité du bombardement. Plusieurs bâtiments ont été atteints. De nombreux incendies ont été allumés.

Les aviateurs sont restés près de six heures en l'air et ont parcouru plus de 400 kilomètres.

Cette expédition contre un important établissement militaire a servi de riposte aux tentatives des avions allemands sur Paris.

Les dix-huit appareils qui ont bombardé les usines d'explosifs de Ludwigshafen sont rentrés tous, sauf un, qui a été obligé d'atterrir près de Ludwigshafen [1], probablement par suite du feu de l'ennemi, et que son équipage a brûlé.

Cette expédition montre à quel degré d'habileté

---

(1) Ludwigshafen est situé en Bavière, sur la rive gauche du Rhin, en face de Mannheim.

et de courage sont parvenus nos pilotes. Cela constitue le plus beau fait d'armes aérien encore accompli.

Les usines de la Badische Anilin und Soda-Fabrik, les plus considérables fabriques d'explosifs de l'Allemagne, occupent tout un quartier de Ludwigshafen, près de Mannheim, et une importante annexe a été récemment installée à Oppau, à 3 kilomètres de Ludwigshafen.

Les avions ont lancé 47 obus de 90 et 2 obus de 155 sur le premier objectif, et 36 obus de 90 sur l'usine d'Oppau. Tous les obus ont atteint le but.

Dès 6h 15, trois foyers d'énormes fumées jaunes se voyaient à Ludwigshafen et, à 6h50, les avions ont constaté de grandes masses de fumée qui recouvraient Ludwigshafen et Oppau.

Cinq Boches pour un pied.

Nous empruntons au *Petit Journal* le récit d'une « tragédie dans les airs ». Comment ne pas pleurer d'admiration à la lecture de l'exploit surhumain du pilote de M... ! Il était allé, en compagnie d'un sergent, bombarder une position allemande sur la côte belge, et tous deux revenaient, la mission remplie.

Tout à coup, un obus allemand sectionne l'essieu des roues de devant du train d'atterrissage, pénètre par le « regard » de celluloïd de la nacelle, coupe net le pied gauche de M... et sort par le côté de la « carlina » — la nacelle — en faisant un énorme trou.

Le pilote blessé aussi grièvement, l'appareil « soufflé » par le vent du projectile, c'est la fin, la chute irrémédiable ! Déjà les Boches, en bas, triomphent. Ils viennent de recevoir sur la tête la boussole arrachée de l'avion.

On assiste alors à cette chose terrifiante : le biplan plonge, plonge... Mais de M..., malgré son horrible blessure, se redresse, et le voilà qui, au milieu des obus, reprend sa marche vers nos lignes.

De sa cheville coupée, le sang coule à flots. Il rougit le plancher de la nacelle, dégouline par les interstices jusque sur les roues arrière, va balayer la figure du passager, qui lui-même a reçu un shrapnell dans la tête. C'est une pluie rouge... Le sergent se rend compte qu'ils sont perdus.

De son bras gauche il soutient de M... ; de sa main droite il écrit avec un sang-froid superbe, au crayon, sur un papier fixé à une planchette...

« Je termine ma lettre, ma chère maman. Si nous devons tomber, à la garde de Dieu ! mais que nos chefs sachent que notre mission a été remplie, et que notre bombe a été jetée où il fallait ! »

De M..., avec son moignon, va-t-il pouvoir tenir ? Il a encore 27 kilomètres à faire.

Le sergent lui crie tout à coup :

— Veux-tu que je prenne le « manche à balai » — le gouvernail ?

De M..., furieux, se retourne à demi et hurle dans le vent :

— Non ! non ! F...-moi la paix. Aie confiance en moi, nous rentrerons en France !

Le sergent a fini sa lettre. Il reprend de M... sous les aisselles.

Le pilote plonge soudain dans le capot. Il saisit de la main gauche son pied sanglant dans la chaussure. Celui-ci « coinçait » son gouvernail de direction.

Il passe la pauvre loque rouge au sergent, derrière :

— Tiens ! prends ça, je n'en ai plus besoin !

Et sa « commande » dégagée, s'appuyant sur son

moignon, il va, il va, les yeux brouillés, raidi, tout son être bandé dans un ressaut d'énergie surhumaine...

Nous voyons soudain pointer vers notre champ un biplan qui flotte un peu.

Il descend cependant correctement, sur les roues de derrière. Et voilà les deux hommes qui touchent le sol au milieu de nous. Ce sont deux héros. Le sergent nous crie :

— Blessé ! Il est blessé !

Le fuselage est rouge de sang, des gouttes vermeilles tachent l'herbe. On apporte un brancard. De M..., par le trou de l'obus, passe son pied déchiqueté hors du capot et descend lui-même de son appareil.

— Non, mais crois-tu qu'ils m'ont arrangé ! Ça ne fait rien, ils ne m'auront pas !

On ramasse le pied au fond de la nacelle et on place le blessé dans une voiture d'ambulance.

Il ne blague plus. D'un verbe exalté, il récite maintenant les beaux vers de « L'Aile », de Rostand. Il a la fièvre. Il veut bien enfin s'évanouir à son arrivée à l'hôpital de Zuydschoote.

On l'a amputé hier matin. J'ai pu parvenir jusqu'à lui hier au soir.

— Tu sais, lui ai-je dit, que tu es proposé pour la croix et le sergent pour la médaille militaire.

— Tant mieux ! me répond-il avec un sourire qui illumine son visage décoloré, tant il a perdu de sang. Je suis content !...

Il ajoute :

— Et puis, tu sais, mon vieux, quand je serai guéri, avec une machine articulée, je peux encore très bien piloter... Les Boches m'ont enlevé le pied... Ça me fait cinq doigts en moins... Il faut que j'en tue cinq, la première fois que je volerai !...

Dramatique capture d'un aviatik.

Le *Petit Parisien* a reçu d'un officier la lettre suivante, où il racontait les circonstances vraiment extraordinaires dans lesquelles un de nos aviateurs amena dans nos lignes un aviatik, dont il avait tué le pilote et l'observateur.

Mon ami, le lieutenant aviateur P..., est trop modeste pour faire part au public de ses exploits. Il compte à son actif une vingtaine d'actes héroïques et de résultats merveilleux, qu'il attribue seulement à une heureuse chance ! Je ne puis pourtant m'empêcher de relater l'un d'eux. Je ne désignerai mon ami que par l'initiale de son nom, pour ne pas froisser sa modestie excessive.

Dans la région de la Woëvre, il s'agissait de repérer plusieurs batteries ennemies, soigneusement dissimulées à la lisière d'un bois par des branchages. Le lieutenant P... et l'observateur L... durent, pendant un quart d'heure, sous le feu de l'ennemi, faire leur reconnaissance ; mais, grâce à des virages adroits, seuls quelques éclats d'obus perforèrent les ailes de l'avion.

De dépit, les Boches envoyèrent un aviatik à la poursuite de notre appareil. Chose étrange ! nos ennemis virent bientôt l'avion français survoler le leur et l'aviatik fuir celui qu'il poursuivait tout à l'heure.

Malheureusement, une panne de moteur survint, le lieutenant P... dut atterrir un peu brusquement dans un champ. L'aviateur allemand, le croyant tué, eut cette fois l'héroïque courage d'atterrir auprès. Et alors commence le fantastique de l'aventure : le lieutenant P..., faisant le mort, laisse

approcher l'officier allemand ; puis, à bonne portée, lui loge une balle de revolver dans la tête, et, en moins de temps qu'il n'en faut pour le dire, bondit sur l'aviatik, où il tue l'observateur sur son siège.

Puis, double ronflement du moteur... L'aviatik vient dans nos lignes, suivi de l'aéro français conduit par l'observateur L... !

Sans compter que quelques heures après, nos artilleurs, meilleurs que leurs confrères boches, mettaient hors de service trois ou quatre des pièces repérées.

Ai-je bien fait, malgré mon indiscrétion, de révéler au public un acte aussi crâne et de splendide sang-froid ?

Sous-lieutenant R.:.

CHAPITRE VII

POUR LA SUPRÉMATIE AÉRIENNE

Au moment où le Parlement français discutait la grave question que l'on a appelée la « crise de l'aviation », et alors même que cette question semblait résolue et que ceux qui avaient perdu confiance étaient rassurés par des déclarations officielles, des zeppelins sont venus jeter des bombes sur Paris, deux jours de suite, les 29 et 30 janvier dernier et, plus récemment, une escadrille de zeppelins a jeté plus de 300 bombes en Angleterre.

Sans examiner l'intérêt et le succès de cette entreprise, — on sait que l'un des dirigeables a sombré au retour et qu'un autre a été fortement détérioré, — plusieurs questions se sont posées qu'il est intéressant d'examiner en détail.

Est-ce une preuve de mauvaise organisation de notre part? Notre aviation est-elle responsable? Ou plus simplement est-ce la défense terrestre, projecteurs et canons, qui est insuffisante? L'enquête a prouvé que les circonstances atmosphériques ont favorisé le raid sur Paris, alors qu'au contraire elles paralysaient notre défense.

La distance que les zeppelins ont à franchir pour venir survoler la capitale ne représente guère, aller et retour, plus de 350 à 400 kilomètres. Pour des engins de pareil cubage, la distance n'est donc pas un obstacle, et, comme on en a fait judicieusement la remarque, le peu de distance relative qui sépare



Un « taube », abattu par un de nos aviateurs, achève de se consumer.

Paris du front permet difficilement à nos avions, s'ils ne sont pas prévenus à temps, de rattraper le dirigeable tout en gagnant une hauteur suffisante pour livrer avantageusement combat. Cela n'a pas été le cas; nos avions ont été prévenus à temps, mais les deux raids sur Paris ont été effectués par un brouillard intense, masquant le zeppelin à la vue des artilleurs, rendant impuissants les projecteurs, et à une hauteur de 3.500 à 4.000 mètres. Malgré cela, signalé au passage des lignes, les avions du camp retranché ont eu le temps matériel de grimper à une hauteur suffisante pour attaquer le zeppelin dès son arrivée sur Paris.

M. *Raoul Anglès,* député des Basses-Alpes, qui a pris part à la poursuite, en sa qualité d'aviateur, déclare à ce sujet, dans le *Matin :*

« Si l'on se souvient que, en mars 1915, le zeppelin vogua sur Paris pendant plus d'une heure, jetant ses bombes un peu partout, alors que cette fois il n'y demeura que quelques minutes à peine, ne lâchant qu'une cargaison réduite, il faut bien admettre que nos avions le troublèrent — mieux, l'interrompirent — dans son expédition. Sa fuite éperdue vers l'ouest, la poursuite épique à laquelle se livra contre lui l'un de nos avions qui le gagnait de vitesse tandis que l'autre le gagnait de hauteur, les jets successifs et considérables de lest auxquels l'équipage dut avoir recours pour atteindre cette altitude, augmentant par là même les difficultés et les dangers de son atterrissage au retour, tout prouve que la défense par avions, malgré certaines imperfections auxquelles il est possible de remédier, eut un effet utile dans la nuit du 29 janvier. Elle seule empêcha le pirate de commettre sur Paris des dommages plus graves et qui auraient pu être irréparables. »



Monoplan Fokker, à mitrailleuse, en plein vol.

Donc la défense a été efficace en ce qui concerne les avions. Ceux-ci étaient-ils assez nombreux? De l'avis des aviateurs, un plus grand nombre d'appareils eût été désirable. L'armement des avions était-il suffisant? Celui de quelques-uns, oui. Des *avions-canons,* voilà ce qu'il fallait, et en plus grand nombre, pour l'attaque; avec un projecteur à lumière froide de Dussaud pour éclairer le but et un canon dont les obus à éclats multiples cribleront de trous la carapace d'aluminium du zeppelin, le succès doit être assuré. Quant aux avions à mitrailleuse, il est douteux qu'ils puissent jouer un rôle bien efficace, voire même en utilisant des balles incendiaires, dont les résultats seraient, paraît-il, médiocres jusqu'à présent.

En résumé, nous possédons des moyens efficaces pour combattre les zeppelins. Renforcer ces moyens, en augmentant le nombre des avions et en généralisant l'armement sur ceux-ci, voilà ce qui est nécessaire et d'ailleurs ce à quoi nos services aéronautiques travaillent fiévreusement.

La question de valeur des appareils en service a été également posée. Nous pouvons affirmer que nous possédons des appareils supérieurs aux appareils ennemis.

Le Fokker, un monoplan allemand dont on a vraiment fait trop d'éloges, s'est vu attribuer par les pessimistes des qualités exagérées. Ce n'est, en réalité (Voir photo p. 63), qu'une copie du monoplan français Morane, à mitrailleuse tirant dans le champ de rotation de l'hélice : une invention de Garros, que nos ennemis ont servilement copiée, voilà tout. Une sorte de baignoire, en tôle d'acier de 2^{mm}5 d'épaisseur, constitue un blindage de protection pour le pilote, le moteur et les réservoirs; c'est la seule modification heureuse apportée

aux avions allemands, et encore cette protection est bien illusoire.

Enfin en ce qui concerne les moteurs, on a sévèrement critiqué nos moteurs rotatifs et porté aux nues le moteur fixe, utilisé sur les appareils allemands. Pourquoi alors nos ennemis ont-ils adapté sur le Fokker, leur plus récent appareil, un moteur rotatif? Ne serait-ce pas tout simplement parce qu'ils en ont reconnu les qualités? Combien d'appareils ont pris feu à cause des retours de flamme, si dangereux dans certains moteurs fixes?

Le Fokker est un appareil de chasse ; nous pouvons lui opposer deux appareils : l'avion de chasse à mitrailleuse, faisant 140 à 150 kilomètres à l'heure, meilleur grimpeur et plus souple que le Fokker, — et l'avion-canon, dont on a pu dernièrement apprécier les qualités de combat. Un communiqué officiel a relaté la lutte de trois avions-canons contre des Fokkers : deux de ces derniers ont été abattus et les autres se sont enfuis.

En résumé, soyons confiants dans notre aviation et souhaitons qu'elle se développe davantage encore. Et si nos ennemis cherchent des succès faciles « qui remontent un peu le moral défaillant des populations allemandes, dont le cœur et le ventre se serrent en même temps », dans nos écoles d'aviation règne une activité fiévreuse qui nous donne les plus belles espérances. Ah ! certes, notre cinquième arme provoquera bien des déceptions chez l'orgueilleux peuple allemand, et donnera naissance à bien des pages écrites à la gloire de nos valeureux aviateurs, dont le rôle, dans la lutte pour l'effondrement final de l'Empire germanique, semble s'affirmer de plus en plus grand.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AVRIL 1916

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1916

11e Série

HENRY DE VARIGNY

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

Définition des explosions et des explosifs. — Les différences d'aptitudes des explosifs. — La vitesse d'explosion. — Méthodes de mesure des vitesses d'explosion. — Peut-on prévoir la valeur d'un explosif ? — La mesure expérimentale de la pression et de la puissance des explosifs. — Les essais pratiques des explosifs. — L'amorçage des explosifs. — Le chapitre des accidents. — Classification des explosifs. — La poudre noire. — Explosifs chloratés. — Les fulminates. — Les celluloses nitrées. — Nitroglycérine et dynamite. — Picrates et mélinite, trinitrotoluol.

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
RUE DES GLACIS, 18

107

Prix : 75 centimes

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

107. 1

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés à la presse, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5) ;

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

1e Série d

HENRY DE VARIGNY

3

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
RUE DES GLACIS, 18

1916

AVANT-PROPOS

Jamais il n'a été autant consommé d'explosifs. Et leur importance est capitale. Dans ces conditions il est indiqué de résumer quelques-unes des notions qui s'y rapportent. Mais on comprend que, dans un travail destiné au grand public, il ne soit pas possible d'entrer dans l'étude des questions techniques et mathématiques. Des ouvrages spéciaux existent, où la théorie des explosifs est étudiée à fond, les œuvres de Berthelot, de Sarrau, de Vieille et de beaucoup d'autres. C'est là qu'il faudra chercher des considérations et explications qui ne seraient pas à leur place ici (1).

(1) Voir, comme ouvrages d'ensemble : L. Vennin et G. Chesneau : *Les Poudres et Explosifs* (Ch. Béranger, 1914); P. Chalon : *Les Explosifs modernes* (Ch. Béranger, 1911); A. Marshall : *Explosives, their manufacture, properties, tests and history* (J. et A. Churchill, Londres, 1915); R. Molina : *Les Explosifs et leur fabrication,* traduit de l'italien par J.-A. Montpellier (Dunod et Pinat, 1909); Cundill : *Dictionnaire des explosifs,* traduit de l'anglais par M. Désortiaux (1893, Gauthier-Villars); Henry Le Chatelier : *Le Chauffage industriel* (Dunod et Pinat); Daniel : *Dictionnaire des matières explosives,* préface de M. Berthelot (Dunod, 1902); A. Job, *La Chimie du feu et des explosifs* (Berger-Levrault, 1915).

EXPLOSIONS

ET

EXPLOSIFS

DÉFINITION DES EXPLOSIONS

Les explosions sont de diverses sortes. Il en est qui se font sans qu'il y ait d'explosif dans l'affaire. La chaudière à vapeur qui saute par surchauffe nous présente un exemple d'explosion physique. Le siphon d'eau de Seltz, le tube d'acide carbonique liquéfié, sautant par excès de pression, font de même. Et on en peut dire autant de l'air ou de l'oxygène liquéfiés, enfermés dans un obus. Dans ces exemples d'explosion physique, il y a simplement changement d'état physique, sans changement chimique.

La situation change quand nous considérons l'acétylène liquéfié qui explose sous l'influence d'un détonateur, d'une amorce au fulminate de mercure, ou même par le choc ou le frottement. Le phénomène n'est plus purement physique. Nous assistons à une dissociation soudaine et violente des éléments, et nous avons là un second type

d'explosion, par dissociation. Plusieurs corps explosent de même : iodure et chlorure d'azote, argent fulminant, divers oxydes (de chlore, par exemple).

L'explosion enfin, au sens où l'on prend communément et de façon courante ce terme, est un phénomène de combustion. Et les explosions par combustion forment une troisième catégorie, la plus nombreuse et la plus importante. La combustion est plus ou moins rapide, d'où explosion plus ou moins forte. Dans ce troisième cas, l'explosif se compose de deux sortes d'éléments : un comburant et un combustible, l'explosion résultant de la combinaison rapide du dernier avec le premier.

Le comburant est variable : c'est le chlore, les nitrates, les chlorates, l'iode, le soufre, l'oxygène surtout. Le combustible est très divers, bien plus que le comburant : métaux divers (magnésium, aluminium), hydrocarbures, corps gras, tous les composés combustibles, à commencer par le charbon et l'hydrogène.

L'explosion par combustion résulte donc de la réaction consécutive au mélange d'un comburant et d'un combustible en proportions convenables, réaction qui se produit à la condition d'une certaine excitation, d'une sorte de coup de pouce déterminant. Ce coup de pouce est plus ou moins nécessaire, et, selon la nature de celui-ci, le phénomène varie beaucoup. Le même explosif peut brûler, tout simplement, sans explosion, si on y met une allumette, ou bien détoner avec fracas si on l'amorce au moyen d'un détonateur. Il y a donc deux côtés, pour ainsi dire, à un explosif : sa composition et la manière de le faire exploser.

DÉFINITION DES EXPLOSIFS

Les explosifs ne se définissent pas chimiquement. Ce ne sont pas des membres d'une classe quelconque d'éléments simples, mais des mélanges ou composés où sont associés des corps divers, parfois très complexes. Mélanges instables, c'est-à-dire prenant feu ou se dissociant aisément, par ignition, par choc, par frottement, par ébranlement, et dont la manipulation exige toujours de grandes précautions. L'instabilité de certains est telle qu'ils sont même inutilisables. On définit bien plutôt les explosifs par leurs effets physiques. Un caractère commun à tous les explosifs proprement dits est que tous sont, ou bien que tous contiennent, des corps endothermiques, c'est-à-dire des corps s'étant formés avec *absorption* d'une grande quantité de chaleur, avec un grand abaissement de température, et qui, en se décomposant, *dégageront* au contraire beaucoup de chaleur, autant qu'ils en ont fixé pour un temps. La thermochimie, entre les mains de Berthelot, fait connaître quelle quantité de chaleur est absorbée ou dégagée dans la formation de milliers de composés chimiques, solides, liquides ou gazeux, et sous les trois états pour ceux qui les présentent, comme l'eau; elle indique donc d'avance quels sont les composés formés avec dégagement de chaleur, qu'il est inutile d'essayer à titre d'explosifs, et quels sont ceux qui peuvent être utilisés, leur formation ayant été accompagnée d'une absorption de chaleur, au contraire. Les tables de chaleur de formation rendent là des services de premier ordre, et le rôle de Ber-

thelot dans la constitution de la théorie des explosifs est capital (1872).

Grand dégagement de chaleur, lors de la décomposition explosive, parce qu'il en a été absorbé beaucoup lors de la formation du composé, voilà un premier caractère des corps explosifs.

Un autre est la production d'une très grande quantité de gaz. C'est le passage du liquide ou solide à l'état de gaz qui détermine les effets de l'explosion ; c'est l'expansion du gaz qui détermine les effets de pression et de déplacement : propulsion d'un projectile s'il s'agit de la poudre à fusil ou à canon, éclatement des parois si l'explosif est enfermé dans un récipient quelconque clos. Quelques explosifs peuvent servir indifféremment à la propulsion et à l'éclatement, comme la poudre noire qui sert à la propulsion des grains de plomb dans le fusil de chasse et reste un explosif de mine et de carrière très apprécié ; certains peuvent être amenés à remplir les deux fonctions par des traitements qui en altèrent les propriétés en vue du but à atteindre : qui modèrent un explosif brisant (poudre Vieille), ou au contraire accélèrent la réaction d'un explosif ayant naturellement une marche lente. Il y a donc des explosifs qui, par leur nature, sont très préférables comme propulseurs de projectiles, et d'autres qui, ayant une brisance extrême, ne peuvent être utilisés que pour faire éclater des projectiles creux, ou faire sauter des matériaux (mines, carrières, destruction d'édifices, chemins de fer, rochers, etc.). En somme, comme définition des explosifs, on peut accepter la suivante : solide ou liquide, un mélange de substances aptes, par application de choc ou de chaleur à une petite partie de la masse, de se con-

vertir très rapidement en d'autres substances plus stables, pour la plupart, ou en totalité, gazeuses et plus volumineuses aussi.

LES DIFFÉRENCES D'APTITUDES DES EXPLOSIFS

Nul ne l'ignore, les divers explosifs ne sont pas interchangeables. On ne mettra pas dans un obus, indifféremment, de la poudre noire ou de la mélinite ; ni dans un fusil, de la dynamite à la place de nitrocellulose.

A quoi tiennent les différences d'aptitudes, pour ainsi dire, des divers explosifs ? Pourquoi la dynamite ne vaut-elle rien comme explosif de propulsion, alors que comme explosif brisant elle est très supérieure à la poudre sans fumée ?

La chose s'explique par l'existence de différentes sortes d'explosions, lente et rapide. Et en pratique, il y a l'explosion lente, convenant aux cas où l'on recherche un effet de propulsion ; l'explosion semi-rapide, convenant encore au même cas, et l'explosion très rapide, brisante. Les poudres lentes, progressives, conviennent à la cartouche et à la gargousse; les poudres brisantes, aux obus, aux cartouches destinées à détruire ponts, rails, etc. La poudre progressive agit sur la balle ou l'obus durant tout le temps que le projectile parcourt l'âme du canon ou du fusil ; la poudre brisante fracasserait ceux-ci. Aussi réserve-t-on les explosifs brisants aux cas où l'on cherche un effet de destruction : obus, mines, torpilles.

LA VITESSE D'EXPLOSION

Dans une conférence très intéressante à la Société des Amis de l'Université (janvier 1915 : *Les Explosifs,* conférence publiée dans la *Revue de Métallurgie* [Dunod et Pinat] et en tirages à part, aussi), M. Henry Le Chatelier, l'éminent chimiste et métallurgiste, a donné sur la vitesse d'explosion des indications fort intéressantes.

Cette vitesse est extrêmement variable : selon l'explosif, selon les conditions où il est placé, selon le mode d'amorçage enfin. Prenons une cartouche de dynamite et mettons-y le feu : elle brûle comme une torche, lentement. Plaçons-la contre un rail de chemin de fer, et faisons-la partir avec une amorce convenable : le rail part avec elle. Il y a eu explosion, brisement, éparpillement, et le tout en un clin d'œil. C'est là un exemple entre mille. Si nous résumons la philosophie à dégager des neuf cent quatre-vingt-dix-neuf autres en même temps, nous constatons que la vitesse de propagation de l'explosion, la vitesse de l'explosion, varie d'un explosif à un autre, et aussi, pour un même explosif, d'une condition à une autre dans des limites presque démesurées. Les différences sont de l'ordre de un à un million. Dans tel composé l'explosion se fait un million de fois plus vite que dans tel autre. C'est là, on le devine sans peine, ce qui fait le danger des explosifs brisants, ultra-rapides, explosant à l'air libre en l'absence de toute contrainte. Tandis que, en liberté, la poudre noire déflagre sans causer d'explosion et que la dynamite allumée brûle lentement, sans exploser non plus, la dyna-

mite explosant sous l'action de l'amorce convenable fait un dégât considérable en raison de la soudaineté de sa transformation. Les couches d'air ambiantes, le sol, les objets, agissent comme autant de parois, d'obstacles s'opposant à l'expansion des gaz subitement dégagés : d'où des effets identiques à ceux que l'on aurait eus si l'explosif avait été enfermé dans une enveloppe.

MÉTHODES DE MESURE DES VITESSES D'EXPLOSION

M. Henry Le Chatelier a fort bien résumé et exposé les méthodes au moyen desquelles on mesure les vitesses d'explosion, ou plus exactement, de propagation d'explosion. L'exposé sera plus simple en commençant par le cas d'une explosion de mélanges gazeux.

On prend un tube de verre fermé à une extrémité, ouvert à l'autre, rempli d'un mélange combustible : par exemple 20 parties de gaz et 80 d'air. On allume par le bout ouvert et on regarde. On voit la flamme progresser régulièrement d'abord, puis s'accélérer, devenir trouble, et, dès lors, la vitesse devient et reste plus grande et très irrégulière. Mais, même en pareil cas, où les phénomènes ne sont pas extrêmement rapides, la vue est évidemment un moyen d'observation trop imparfait, et notre horloge intérieure est d'une précision plus qu'inadéquate. Pour bien faire, pour mesurer avec précision, il faut la photographie — la plaque voit des choses qui échappent à l'œil, vous diront les astronomes — et, en particulier, la chronophoto-

graphie, qu'élabora Marey; il faut pouvoir photographier toute la longueur du tube soit sur du papier se déplaçant à raison de 10, 20, 50 centimètres ou 1 mètre par seconde, soit, s'il s'agit de vitesses d'explosion plus grandes, sur une plaque tombant en chute libre avec des vitesses variant de 1 à 10 mètres par seconde. Inutile d'insister sur les détails : l'important est le résultat. Or, le résultat c'est, avec les flammes riches en rayons actiniques, bien entendu, une photographie qui se lit avec la plus grande facilité, un graphique très clair qui fait voir la progression de la flamme, non seulement seconde par seconde, mais de dixième en dixième de ce temps.

Cette photographie montre nettement des faits que l'œil ne pourrait déceler. Elle fait voir qu'au début, la flamme progresse avec une vitesse uniforme très régulière, de 60 centimètres à la seconde, puis elle prend un mouvement oscillatoire très net en même temps qu'augmente la vitesse de propagation, qui peut, par moments, être décuplée. Que se passe-t-il donc, et pourquoi cette seconde forme de propagation?

Il y a là deux phénomènes distincts, successifs, nous dit M. Le Chatelier. Pendant la première période, la flamme progresse en vertu de la transmission de la chaleur par conductibilité calorifique. En un point donné, nous avons une couche brûlée très chaude (2.000° environ) au contact d'une couche froide non brûlée; elle échauffe celle-ci jusqu'à sa température d'inflammation qui est de quelques centaines de degrés. La vitesse de propagation est régulière, continue, car elle dépend de trois facteurs qui sont constants : la température de combustion, la température d'inflammation, et la

conductibilité calorifique de la masse. On le voit bien à ce fait que, dans les mélanges divers qu'on peut faire, la vitesse de propagation la plus grande se présente dans le mélange intermédiaire entre le plus chaud et le plus conducteur, comme le faisait prévoir la théorie.

Pendant la seconde période, il se passe autre chose. Par l'agitation de la masse gazeuse résultant des oscillations, il y a mélange des couches froides et chaudes, et contacts plus étendus entre celles-ci, d'où accélération des échanges de chaleur. Et plus l'agitation est forte, plus les échanges sont accélérés et la propagation rapide.

L'expérience qui précède, répétée avec un mélange bien plus combustible d'oxygène et de sulfure de carbone, montre que la propagation se fait là aussi toujours selon deux modalités. Uniformément d'abord, mais plus vite : 20 mètres par seconde au lieu de 60 centimètres. C'est la conductibilité qui est en jeu. Puis brusquement, la propagation se fait en quelque sorte instantanée. Du moins, avec un déplacement lent de la plaque, elle paraît telle ; avec un déplacement rapide (10 mètres par seconde au lieu de 10 centimètres ou de 1 mètre par seconde), elle ne l'est plus et devient mesurable : sa vitesse est de 1.800 mètres par seconde.

Cette expérience nous révèle un troisième mode de propagation qui a reçu le nom d'onde explosive. Quel mécanisme invoquer ici ? L'action de la couche brûlée n'est plus d'échauffer la voisine non brûlée par conductibilité, c'est de la comprimer par sa pression qui est très élevée, c'est de lui donner un choc, comme l'a montré Berthelot, qui l'échauffe mécaniquement. L'onde de choc marche rapidement, aussi la réaction « s'emballe-t-elle » ; elle est

adiabatique et très accélérée en raison de l'élévation de la température. Celle-ci, on le sait, joue un grand rôle dans les réactions chimiques, et la vitesse d'éthérification, par exemple, est, à 200° C., vingt-deux mille fois plus grande qu'à 7° C. La réaction isothermique est naturellement modérée ; l'adiabatique est forcément explosive.

Dans le cas qui vient d'être examiné, nous avons affaire à l'onde explosive.

Comme il importe de bien comprendre ce qu'est l'onde explosive, prenons un exemple. La dynamite ne détone que si elle est portée brusquement à 190 ou 200° C. Or, elle explose si on fait tomber sur elle un poids d'un kilo d'un mètre de hauteur, bien que la force vive, dans le cas examiné, soit hors d'état, transformée en chaleur, d'élever la quantité de dynamite en expérience à la température indiquée. Il faut admettre que la pression développée par le choc a été trop soudaine pour se répartir dans la masse : la force vive se transforme en chaleur *dans les couches superficielles* atteintes qui sont portées à la température voulue. Elles explosent donc, mais la production de gaz est tellement brusque qu'un nouveau choc frappe les couches adjacentes. Et ainsi de suite, de proche en proche, d'après Berthelot. Il y a donc une « vitesse de détonation », et on comprend que la violence des effets dépende de l'intensité du premier choc, car, plus l'impulsion première est énergique, plus la propagation est rapide. On saisit dès lors l'extrême importance de l'amorçage, de la mise en train. Les chocs successifs, de couche à couche, sont plus rapides quand ils sont plus violents, et une explosion est en réalité le résultat d'une série d'explosions qui s'engendrent les unes les autres

et se précipitent, se succédant de plus en plus vite.

Il y a donc trois modes de propagation de la flamme :

Par conductibilité, avec vitesses variant de 10 centimètres à 100 mètres par seconde (selon que le mélange contient de l'air ou de l'oxygène) ;

Par agitation, mode qui « ne comporte aucune définition précise », dit M. Le Chatelier, mais donne des vitesses pouvant approcher du kilomètre à la seconde ;

Enfin par choc ou onde explosive, donnant des vitesses variant de 1.000 à 5.000 mètres par seconde et plus encore, la quasi-instantanéité [1].

Ce qui est vrai des mélanges explosifs gazeux l'est aussi des solides. On retrouve chez ceux-ci les trois modes de propagation, ou du moins des homologues de ceux-ci.

Ainsi la combustion de la poudre sans fumée à l'air libre se fait à raison de 10 millimètres par seconde (conductibilité). Et beaucoup d'explosifs notables ont des vitesses de combustion par conductibilité tout aussi faibles et même plus faibles. Aussi se garde-t-on bien de les faire partir par ce moyen. Ce qu'on demande à un explosif, c'est de faire explosion, de se décomposer rapidement.

Dans la déflagration de la poudre noire, nous avons quelque chose qui correspond à la propagation par agitation. La vitesse est plus grande. Mais encore faut-il observer — et c'est ici une des découvertes de M. Vieille, l'éminent ingénieur, qui

(1) La vitesse de l'onde explosive, avec certains explosifs brisants, peut atteindre 11 kilomètres à la seconde, d'après M. G.-W. Mac Donald (*Nature*, 8 juillet 1915).

a trouvé la poudre sans fumée et révolutionné la guerre moderne — que la vitesse dépend de conditions accessoires, de l'état de division de la matière explosive : la matière brûle plus vite en grains qu'en masse compacte agglomérée, et la différence est de l'ordre de 1 à 100, et aussi de la pression, ce qui fait qu'en vase clos, où la pression s'accroît par le fait du dégagement des gaz, la vitesse des échanges de chaleur, et par conséquent de déflagration, s'accroît énormément.

Enfin beaucoup de corps, les explosifs, les grands explosifs, les professionnels de l'explosion, présentent le troisième mode de propagation, c'est-à-dire par choc, par onde explosive. Et, dans ce cas, la vitesse varie de 2.000 à 7.000 mètres par seconde. Ici, naturellement, les effets brisants sont au maximum. C'est cette vitesse énorme de propagation de l'explosion qui permet aux grands explosifs, aux explosifs rapides, de déterminer, en détonant à l'air libre, des pressions aussi élevées qu'en vase clos : d'être aussi dangereux en liberté qu'en cage.

L'énormité des pressions dégagées par l'onde explosive résulte de la loi mécanique de l'inertie, comme l'a fait remarquer M. Le Chatelier. « L'explosif détone dans son propre volume avant que les produits de la réaction aient eu le temps de se déplacer de façon appréciable. »

Aussi qu'arrive-t-il si un pareil explosif détone à l'air libre, à côté d'un rail ? C'est que ce dernier est brisé net. Ce n'est pas tout. Du point où se fait l'explosion partent des ondes comprimées d'une violence extrême, produisant au loin des effets mécaniques considérables. Ce sont ces ondes qui jettent les hommes et les bêtes à terre, qui brisent les fenêtres, fendent les murs et font même explo-

ser les explosifs à petite distance. Ceux-ci se comportent comme s'ils recevaient un coup violent ou tombaient de haut : l'onde comprimée agit comme un choc. A petite distance, les corps sont déchiquetés, éparpillés ; plus loin, les combattants tombent et meurent, comme assommés par le coup.

La notion de l'onde explosive est très intéressante. C'est grâce à l'application de la méthode d'analyse et d'étude indiquée plus haut qu'elle a pu prendre corps. L'expérience montre que cette onde explosive présente des degrés : la vitesse d'explosion est variable. Elle varie selon la substance. Dans la dynamite, elle dépasse 6 kilomètres à la seconde d'après les artilleurs autrichiens ; avec le coton-poudre, elle varie de 5 à 7 kilomètres, d'après le général Sébert ; avec la nitromannite, elle atteint 7.500 mètres ; avec l'acide picrique, 6.500 mètres. Mais avec la dynamite, Sarrau n'aurait obtenu que 2.700 mètres comme vitesse.

Voici d'ailleurs un tableau concernant la vitesse de détonation de quelques explosifs, avec le nom de l'auteur de la détermination.

EXPLOSIFS	VITESSE de détonation en mètres par seconde	AUTEURS
Coton-poudre sec	3.700-6.500	BERTHELOT.
Coton-poudre humide	5.500	ABEL.
Nitro-amidon.	5.500	ABEL et BERTHELOT.
Nitromannite	7.000	ABEL et BERTHELOT.
Tétranitro-méthylaniline. . .	8.500	BICHEL.
Trinitro-crésol	6.500	KAST.
Panclastite.	6.500	BERTHELOT.
Dynamite.	2.000-6.000	BERTHELOT et DAUTRICHE.

Pour un même explosif on observe souvent des différences importantes selon les expérimentateurs ; cela peut tenir à la manière de faire et aux différences de pureté du produit.

Ceci dit sur les trois modes de propagation de l'explosion, qui expliquent la diversité d'aptitudes des explosifs, et font voir pourquoi les uns ne peuvent servir qu'à briser, au lieu que d'autres ne sont bons que comme propulseurs, il convient d'ajouter que, si certains restent invariablement brisants ou propulseurs, parce que naturellement rapides ou lents, d'autres peuvent être à volonté rendus plus rapides ou plus lents par des artifices divers. On arrive à domestiquer, à apprivoiser, dans une certaine mesure, les explosifs brisants, et, par contre, on peut aussi donner un peu plus de ton aux explosifs lents. La chose a son intérêt pratique.

Nous venons de voir pour quelle raison les explosifs diffèrent dans leur vivacité, dans leurs aptitudes. Il faut examiner maintenant comment on en mesure les effets. Pouvoir mesurer, c'est avoir le moyen de juger et de comparer : c'est un progrès immense. Et quiconque trouve une méthode de mesure rend un service signalé à la science.

PEUT-ON PRÉVOIR LA VALEUR D'UN EXPLOSIF ?

Comme une explosion résulte de réactions chimiques, et comme la thermo-chimie fait connaître la quantité de chaleur dégagée par une réaction donnée, étant connues la nature des éléments en présence, leur chaleur de formation et la nature

des éléments finaux, il semble que, théoriquement, le chimiste devrait prévoir les effets possibles d'un explosif. La force vive d'un explosif est certainement le fait des réactions chimiques se produisant lors de sa décomposition. A première vue, le problème paraît simple, et on trouve un peu partout des chiffres donnant le potentiel de divers explosifs. Le potentiel, c'est le produit de la chaleur de réaction de l'explosif multiplié par 425 kilogrammètres, l'équivalent mécanique de la chaleur, et ce produit, le potentiel, mesurerait le travail disponible. Un calcul très simple, la composition chimique d'un explosif étant exactement connue, ferait savoir le travail maximum pouvant être fourni par celui-ci.

En théorie, sans doute; mais en pratique, il en va autrement. On connaît le produit initial et les éléments finaux : d'accord. Mais on ne sait pas toujours par quelles étapes ont été obtenus ces derniers, et ceci a une grande importance. La pression sous laquelle se fait la réaction en a tout autant, et il en va de même de la température dont il est difficile de calculer les pertes. Autre chose : la vitesse d'explosion compte pour beaucoup; or, on ne peut la prévoir. La nature de la réaction chimique, d'où dégagement de chaleur et de gaz, et la vitesse de réaction, voilà les deux données essentielles. Et la théorie ne les prévoit pas exactement. Il en résulte donc que les vues théoriques, *a priori*, sont insuffisantes. Seule l'expérimentation directe fournit la réponse. Observons simplement, en passant, que le coefficient d'utilisation des explosifs reste assez faible : il n'y a guère que 25 ou 30 % de l'énergie totale développée sous forme d'énergie calorifique qui se trouve transformée en travail mécanique utilisable.

LA MESURE EXPÉRIMENTALE DE LA PRESSION ET DE LA PUISSANCE DES EXPLOSIFS

Pour apprécier les explosifs et savoir le parti qu'on en peut tirer, pour établir la « science des explosifs », il faut donc pouvoir mesurer les effets de ceux-ci, et en évaluer exactement la puissance de façon expérimentale. La puissance, c'est-à-dire la pression développée lors de l'explosion en vase clos, qui est cause des phénomènes de rupture de rails ou de ponts, d'éclatement d'obus, de brisement et d'éparpillement d'objets divers, de propulsion de balle ou d'obus : la pression et le travail ensemble.

Longtemps, l'évaluation de cette puissance a été chose de sentiment, d'opinion vague. Il était difficile, du reste, d'arriver à quelque chose de précis. Aussi, l'un disait-il 1 là où l'autre disait 10 ou 100. Il fallait des instruments de mesure plus forts que les explosifs, pour n'être point détruits par ceux-ci, et, d'autre part, la soudaineté des explosifs rapides mettant en jeu l'inertie des pièces mobiles et faussant totalement les indications, il fallait supprimer les pièces de ce genre.

Ce furent deux Anglais, Sir Andrew Noble, artilleur, mort en novembre 1915, et Sir Frederick Abel, chimiste, qui imaginèrent la méthode actuellement employée pour mesurer la pression développée par l'explosif explosant en vase clos, la méthode des *crushers,* des « écraseurs ». Elle consiste à faire exploser en vase clos, résistant, une unité d'explosif, et à en mesurer la puissance par l'écrasement d'un petit cylindre de cuivre,

aplati par un piston en acier mis en action par la pression. Par unité d'explosif, il faut entendre un poids donné, quelconque, dans une capacité donnée : en l'espèce, c'est un gramme par centimètre cube. Cette unité explose : les gaz dégagés pressent sur le piston ; le piston comprime le cylindre de cuivre (uniforme, lui aussi, en hauteur, diamètre et poids) et le cylindre est plus ou moins écrasé, diminué de hauteur, et élargi latéralement. Cette diminution peut être exactement appréciée. Au moyen de balances de tarage on fait supporter à des *crushers* identiques des pressions connues, qu'on fait varier autant que l'on veut ; on voit quel est le résultat, et dès lors, après une série d'expériences de tarage faites une fois pour toutes, on est en possession d'une série de *crushers* qui ont subi toutes les pressions qu'on a voulu. Il suffit de rapprocher de ceux-ci les *crushers* fournis par l'éprouvette à explosions pour savoir quelle pression a été développée dans celle-ci par tel explosif. On évalue l'inconnu par comparaison avec le connu. Rien de plus simple ; encore fallait-il y penser. L'éprouvette de Noble et Abel, perfectionnée par M. Vieille, et qui doit être construite avec beaucoup de soin pour éviter les fuites de gaz autour du piston, est toujours en usage. Les *crushers* ont généralement 8 millimètres de diamètre sur 12 de hauteur : sous pression de 3.500 kilos ils perdent moitié de leur hauteur.

De leurs expériences, qui leur donnèrent pour la poudre noire (à 1 gramme par centimètre cube) une pression de 6.500 atmosphères, les deux expérimentateurs anglais tirèrent une loi, une formule relative au rapport entre la densité de chargement et la pression, et qui a servi de base à tous les

calculs balistiques : cette formule, empiriquement obtenue, est celle que MM. Mallard et Le Chatelier ont tirée, depuis, d'une équation des fluides élastiques de Van der Waals, et qui s'obtient par calcul, étant données la formule de la réaction chimique, la chaleur de réaction et la chaleur spécifique moyenne des gaz, choses connues déjà, et qu'on trouve dans les tables spéciales ou que l'on établit sans peine par l'expérimentation.

La méthode des *crushers* rend des services de premier ordre, dans la détermination de la pression maxima sans explosion du récipient, mais, il faut le reconnaître, elle ne renseigne nullement sur la pression dans les obus ou mines où la densité de l'explosif est beaucoup plus élevée. On ne peut pas faire d'éprouvettes capables de résister aux pressions formidables — supérieures à 10.000 atmosphères — que développent les explosifs à forte densité de chargement. Il en résulte que l'évaluation de la pression maxima, à pleine densité de chargement, reste impossible. On peut mesurer la puissance des poudres progressives, des explosifs lents, et c'est l'essentiel : en ce qui concerne les explosifs brisants, les données restent conjecturales. Au-dessus de 6.000 atmosphères, l'éprouvette est mise hors d'état. Remarquons, par surcroît, avec M. Le Chatelier, que pour ces pressions formidables la formule ne s'applique plus et ne peut rendre le moindre service. Elle n'est exacte que dans certaines limites vite atteintes.

Peut-on mieux mesurer le travail des explosifs, d'où dépend la force vive communiquée au projectile ?

Le premier appareil qu'on ait imaginé, pour mesurer — bien grossièrement du reste — la puis-

sance du seul explosif encore connu, la poudre, ou plutôt pour en vérifier la condition, est celui que Bourne a décrit dans ses *Inventions and Devices,* de 1578. C'était un cylindre métallique à couvercle lourd. On faisait déflagrer de la poudre dans le cylindre ; le couvercle se soulevait, et, grâce à une crémaillère, restait fixé au point atteint. L'angle du couvercle avec le cylindre « mesurait », dans une certaine mesure, la puissance de l'explosif.

En 1627, Curtenbach (*Halinitro Pyrobolia*) faisait mieux. Il avait un mortier vertical recevant un boulet pesant. L'explosion faisait partir le boulet qui était fixé à bout de course par des pièces d'arrêt. Le maître canonnier anglais Nye, en 1647, proposa d'éprouver la poudre en l'employant à tirer une balle de pistolet dans de l'argile, la profondeur de pénétration servant de moyen de mesure. Ou bien encore on employait un mortier horizontal, et la mesure était fournie par la distance où le boulet touchait terre (à même inclinaison de la pièce et même poids de poudre) [1].

Puis, en 1742, l'anglais Robins inventa son pendule balistique : un gros bloc de bois suspendu, et sur lequel on tirait. L'angle d'écartement, indiqué par un curseur s'arrêtant au bout de la course, fournissait une sorte de mesure.

Le pendule balistique inspiré par des idées de Cassini a suffi pendant un temps. L'idée était bonne : elle fut développée ultérieurement par nos artilleurs à Gâvres et à Metz, où l'on construisit des pendules très lourds, servant de bloc de réception de projectiles. A Gâvres, ils sont deux, l'un en face

---

(1) J'emprunte ces détails à A. MARSHALL, *Explosives.*

de l'autre, l'un portant un petit canon qui tire dans la gueule de l'autre, gueule formée d'un tonneau plein de fragments de bois, où le boulet vient se noyer en donnant à tout le système une impulsion. En tirant à distance variable on mesure la diminution progressive de la vitesse du projectile par la résistance de l'air. Mais plus récemment l'artilleur belge Le Boulengé a préféré mesurer la vitesse du projectile au lieu de la quantité de mouvement communiquée à celui-ci. On a des résultats intéressants, bien que la question ne soit pas encore épuisée, et qu'il reste à faire dans ce domaine.

Mais il faut bien reconnaître que sur beaucoup de points l'incertitude subsiste, en l'absence de la possibilité — actuellement — de déterminer la propriété spécifique des explosifs, c'est-à-dire leur pression maxima, à pleine densité de chargement, par l'expérimentation. On ne peut non plus la déterminer par le calcul, comme nous l'avons observé plus haut : encore une fois, on ne peut calculer le potentiel, le maximum de travail disponible, en multipliant la chaleur de réaction par 425, équivalent mécanique de la chaleur, car on ne tient compte dans ces calculs ni des états extrêmes ni des conditions. Les expériences qu'on peut faire donnent des chiffres évidemment, mais non ceux qui nous intéresseraient le plus. Toutefois, ceux qu'on possède ont leur valeur pour les poudres ; c'est pour les explosifs qu'ils sont insuffisants.

Il serait exagéré de dire qu'on ne sait rien. On commence à savoir, petitement, imparfaitement. On fera mieux avec le temps et le travail. Pour la pratique, on sait déjà beaucoup de choses qui ont leur prix, on a des approximations très suffisantes, et on est assuré que les erreurs d'appréciation pos-

sibles sont limitées : rarement de l'ordre de 1 à 2, jamais de celui de 1 à 10, dit M. Le Chatelier. On en sait assez pour avoir de bonnes raisons de préférer tel explosif dans telles conditions, et tel autre dans d'autres, soit à la guerre, soit dans la paix, sans grande erreur de jugement.

LES ESSAIS PRATIQUES DES EXPLOSIFS

S'il est exact que, étant donnés la formule chimique d'un explosif et les produits ultimes de la réaction, on calcule, grâce à la thermodynamique, le volume des gaz libérés, leur nature, leur température et la puissance de l'explosion, il n'en est pas moins certain que les essais pratiques seuls fournissent des renseignements absolument précis sur l'utilisation pratique des explosifs. Seuls, en outre, ils font connaître les meilleures conditions d'emploi : chaque explosif a ses particularités, ses idiosyncrasies pour ainsi dire, et ce n'est qu'à l'usage qu'elles se révèlent, montrant à quoi il peut être bon — ou ne pas l'être. Il suffit de très peu de chose, — qui n'apparaît pas à la lecture de la formule — pour donner ou enlever beaucoup de valeur à un explosif.

Les essais pratiques portent sur trois problèmes : l'effet utile, la sécurité, la conservation. L'explosif idéal est celui qui fait beaucoup de besogne, se conserve bien, sans altération, et peut être manipulé sans risques. Mais encore, ici comme ailleurs, y a-t-il « la manière ». On ne demande pas à un explosif les mêmes particularités en toute besogne : évidemment telle rendra tel explosif apprécié

comme charge d'obus ; telle autre, tel explosif, pour rupture de roche tendre ; et bien évidemment ce n'est pas le même explosif qui conviendra aux roches tendres et aux roches dures, aux roches qu'on veut réduire en grands ou bien en petits fragments. La formule de réaction n'indique pas *a priori* si la pression, d'où résulte l'effet utile, se développe vite ou lentement. Et ainsi de suite. Les essais pratiques sont donc indispensables. En ce qui concerne l'effet utile, l'essai classique est celui de Trauzl, consistant à faire exploser une petite quantité d'explosif dans un bloc de plomb pour voir quelle cavité il y produit. En comparant le volume de celle-ci au volume d'une cavité type, obtenue avec tel explosif, et qui sert de point de comparaison, on précise suffisamment les idées.

L'expérience est simple : on prend un bloc en plomb *pur*, de 20 centimètres de hauteur et de diamètre, où l'on a ménagé, pendant la fusion, un canal de $2^{cm}5$ de diamètre et de $12^{cm}5$ de long.

On introduit au fond du canal un poids donné d'explosif, on bourre de façon toujours identique, et on fait détoner de façon uniforme. L'explosion détermine la transformation de l'extrémité inférieure du canal en une cavité piriforme dont on détermine le volume en la jaugeant à l'eau. Et on compare ce volume à celui que donne l'explosion du poids identique d'un explosif pris comme type. On peut comparer, ou bien les volumes obtenus avec même charge, ou bien les charges donnant même volume ; la dernière méthode est préférée. La chose importante est d'opérer avec beaucoup de précision, dans des conditions identiques, et de ne comparer entre eux que des corps qui détonent. L'essai n'est valable que si l'explosion est brusque ;

il ne vaut rien avec un explosif lent dégageant beaucoup de chaleur, car, dans ce dernier cas, le plomb se ramollit, d'où une cavité exagérée. C'est ce qui arrive avec l'ammonal et la thermite, corps contenant de l'aluminium qui dégage beaucoup de chaleur.

En faisant l'essai de Trauzl, on obtient le « coefficient de travail » par rapport au coefficient relatif à l'acide picrique, par exemple, pris pour unité arbitrairement. Voici quelques chiffres obtenus par un ingénieur des plus distingués, M. Dautriche, trop tôt enlevé à la science.

EXPLOSIFS	COEFFICIENT de travail	EXPLOSIFS	COEFFICIENT de travail
Acide picrique.	100	FAVIER N_1 c.	111
Dynamite gomme	155	FAVIER N_1 b.	103
Dynamite nº 1	102	FAVIER N 4	78
Grisoutine-roche	100	Explosif o nº 3	68
Grisoutine-couche	75	Explosif o nº 5	86
Grisounaphtalite-roche . .	103	Cheddite o nº 2.	82
Grisounaphtalite-couche .	81	Poudre de mine forte . . .	52
FAVIER N_1 a	81	— ordinaire.	48

A côté de l'essai dans le plomb, on pratique aussi l'essai dans la terre. On fore un trou de mine dans un sol de bonne consistance, on y fait exploser une cartouche, et on mesure le volume de la cavité produite. On peut, par ce moyen encore, obtenir des coefficients. Mais ils ne concordent pas nécessairement avec ceux que donnent les essais Trauzl. Observons d'ailleurs que l'homogénéité, dans la terre, doit être moindre que dans le plomb. Ici la terre est plus compacte, là elle l'est moins; la comparaison entre les résultats obtenus n'est donc pas justifiée.

On peut en dire autant de l'essai dans le béton, étudié par M. Dautriche qui opérait avec des blocs de 50 centimètres de hauteur et de diamètre ; mais le milieu, dans ce cas, est plus homogène, et le classement, par essais dans le béton, est sensiblement le même que par essais dans le plomb.

Quand on a affaire à un explosif très brisant, on fait l'essai par les cylindres de plomb. Sur un bloc de plomb de diamètre et de hauteur invariables on pose une rondelle d'acier, puis l'explosif; dessous, une enclume sous forme d'une plaque d'acier. Après explosion on mesure la hauteur du bloc de plomb, c'est-à-dire son écrasement. Mais cet essai fait connaître plutôt la pression de détonation que le travail. Aussi lui préfère-t-on l'essai de Quinan. Dans l'appareil de Quinan l'explosion produit deux effets : encore l'écrasement d'un cylindre de plomb, d'un *crusher,* comme disent les Anglais, qui ont imaginé la méthode ; en outre, elle soulève un poids à une hauteur qui varie selon la puissance de travail. On obtient donc deux données qui se complètent. Elles ont une certaine valeur qu'il ne faut pas exagérer, pas plus que celle des données fournies par l'appareil Guttmann, une sorte de bombe manométrique où l'explosif explose entre deux blocs de plomb que la pression force dans deux cavités coniques placées à l'opposé l'une de l'autre.

Une méthode toute différente est celle du mortier-éprouvette. C'est un mortier pouvant recevoir un projectile cylindrique de 15 kilos. On mesure le travail par la portée du tir, pratiqué, naturellement, avec de très petites charges. Mais cet essai n'est employé que pour les explosifs faibles, non brisants.

Quand on a déjà certaines indications par les

essais Trauzl, et qu'on voit que l'explosif essayé paraît plus particulièrement propre à exercer des effets destructeurs, on lui fait faire de petites destructions en faisant exploser un pétard contre un rail ou une plaque de tôle, dont on compare les déformations, les lésions, avec celles de rails ou plaques maltraités par un explosif donné.

Paraît-il plus adapté aux travaux de carrière et de mine?

On peut faire des essais pratiques industriels. En 1897, il en a été fait à Anzin; en 1910, M. Dautriche en a fait à Euville.

Voici le résumé des essais théoriques, pour un certain nombre d'explosifs, tel que le donnent MM. Vennin et Chesneau dans leur excellent ouvrage *Les Poudres et les Explosifs* (Paris, Béranger, 1914).

Essais d'Anzin. 1897.

EXPLOSIFS	POTENTIEL THÉORIQUE (1)	ESSAI GUTTMANN	ESSAI TRAUZL	RENDEMENT INDUSTRIEL
Dynamite gomme	100	100	100	100
Dynamite n° 1	75	67	66	67
Grisoutine gomme, 70 °/o.	41	72	66	69
Grisoutine B Ablon, 88 °/o	37	60	50	53
Favier Nic, 87,4 °/o	65	86	71	65
Poudre noire ordinaire de mine. .	43	28	31	31

(1) Calculé d'après la formule chimique, les réactions et les produits ultimes.

Ce qui est intéressant, c'est la comparaison de la dernière colonne (Rendement industriel) avec les précédentes. Le rendement industriel peut être supérieur à celui que faisait pressentir la théorie. On voit qu'il coïncide de façon générale avec le chiffre de l'essai de Trauzl : la concordance est très bonne, et on en peut conclure que l'essai Trauzl est pour le moment « le meilleur des essais pratiques de laboratoire ».

Ce serait une grande erreur que de s'en tenir à la théorie et de se contenter des déductions, autorisées par la thermodynamique, que l'on tire de la formule, de l'équation des réactions et de la nature des produits ultimes. Les essais sont indispensables. Sans eux, on ne saurait pas l'importance de la densité de chargement. Celle-ci ne doit pas être exagérée, car alors l'explosion comporte un rendement moindre, et il peut rester de l'explosif qui n'a pas détoné et constitue un danger. La grosseur des grains a son importance aussi : les gros grains ont un rendement moindre que le fin pour un même explosif. La théorie ne dit rien de tout cela. Les essais sont indispensables, et on doit les varier autant que possible.

Les essais de sécurité ne sont pas moins nécessaires. Voilà un explosif dont on ne sait encore rien. Est-il « insensible » ? Les agents extérieurs l'influencent-ils facilement ? Peut-on le battre ou le laisser tomber sans danger ? On tient à savoir ce qu'il en est, pour régler sa conduite à son égard. Il faut savoir à qui on a affaire.

On commence par déterminer la sensibilité à l'amorce, en cherchant, par tâtonnements, le détonateur le plus faible qui le fasse exploser. C'est ainsi qu'on a appris que les explosifs de sûreté

demandent une amorce de 1gr50 ou 2 grammes, alors que le coton-poudre, les dynamites se contentent de 0gr25. Rien dans la théorie ne fait pressentir ces différences. Rien n'indiquait que les explosifs pulvérulents ont plus de sensibilité que les mêmes explosifs à l'état compact. Aussi a-t-on souvent désensibilisé des explosifs en leur imposant l'état compact par fusion (acide picrique), gélatinisation (coton-poudre), congélation. Mais alors il faut augmenter la force du détonateur, parfois placer entre l'amorce et l'explosif un détonateur secondaire qui, mis en branle par le premier, met en branle le second.

Pour vérifier la sensibilité d'un explosif, on ne manque jamais de chercher dans quelle mesure il explose sympathiquement, par influence. Cela a un grand intérêt pratique. L'explosion par influence, la voici : vous faites exploser une cartouche de dynamite, par exemple. Si une autre cartouche se trouve dans le voisinage, à petite distance, l'onde de choc émise par la première se convertissant en chaleur dans la couche superficielle de la dernière, détermine l'explosion de celle-ci. La sympathie, dans cette affaire, n'a rien de mystérieux : en réalité, la seconde cartouche reçoit un coup. Ce coup, très violent à proximité du centre d'explosion, perd très vite et énormément de sa force. Aussi l'explosion par influence n'a-t-elle lieu qu'à très petites distances pour petites quantités d'explosif : avec le coton-poudre (100 grammes), à 80 centimètres ; avec la dynamite, 1 mètre et 1m80 ; avec les cheddites, à 3 ou 4 centimètres seulement. La distance où la « sympathie » reste efficace varie selon l'explosif, la charge et différentes conditions. Il faut voir si l'explosif présente des risques d'in-

cendie, s'il brûle facilement. La poudre, on le sait, ne brûle que trop facilement, et si vite que sa déflagration dégénère en explosion, comme résultat pratique. Les cheddites brûlent très lentement ; d'autres s'éteignent dès qu'on éloigne la bougie.

Il faut voir quelle est la sensibilité à la chaleur, à l'élévation de température, lente ou rapide : expériences faciles à faire et qui donnent les températures où les différents explosifs déflagrent, renseignement très utile pour la pratique.

Certains explosifs ne supportent pas qu'on les touche : l'iodure d'azote détone sous le choc d'une barbe de plume, aussi s'abstient-on généralement de l'isoler. L'or fulminant explose quand on le touche avec un objet dur : et il y a plusieurs corps de ce genre. Les azides (trinitrides), sels de l'acide hydrazoïque, sont encore très sensibles. Divers explosifs supportent mal les chocs et les coups ; on mesure leur sensibilité en les soumettant au choc d'un mouton gradué. Les explosifs de sûreté ont une sensibilité faible, parfois très faible. Mais encore cette sensibilité varie-t-elle selon la texture et d'autres conditions. Parfois on éprouve la sensibilité des explosifs en leur tirant dessus : système qui a l'avantage de permettre d'agir sur une masse d'explosifs assez importante et à distance sûre en même temps, pour le cas où elle sauterait. On ne sait jamais bien au juste.....

Naturellement, à propos des essais de sécurité, une attention particulière est prêtée aux conditions de fabrication et aux dangers qu'elles peuvent présenter : aux réactions, aux vapeurs, etc. Il faut, comme on peut se l'imaginer maintenant, un temps assez long avant d'avoir fait le tour d'un explosif

et d'être en état de dresser sa biographie, de dire ce qu'il est, ce qu'il peut faire, à quoi il est bon et où il ne vaut rien.

Ce n'est pas fini, toutefois. Il ne suffit pas d'avoir essayé un explosif, de l'avoir montré terrible quand il se fâche, mais d'une douceur incomparable tant qu'on le traite avec douceur, et même quand on lui donne des coups de bâton; il ne suffit pas de lui avoir constitué un dossier qui doit le faire bien recevoir, je ne dirai pas partout, car nul explosif n'est dans ce cas, mais dans certains milieux pour lesquels il semble avoir été fait, en raison de ses particularités et de ses caractères : il faut encore s'être assuré de sa stabilité chimique et physique.

Il faut déterminer par l'expérimentation s'il craint l'humidité, s'il craint d'être tassé, comprimé, s'il redoute la chaleur, s'il transpire, s'il laisse exsuder des vapeurs dangereuses (comme la dynamite), s'il redoute la congélation, et quelles influences les agents physiques en général exercent sur sa constitution et sa longévité. Sa longévité, toutefois, dépend surtout de sa stabilité chimique. Et cette dernière est essentielle, car, si l'explosif varie, se modifie, les effets qu'on en attend seront inconstants. Il ne vaudra rien, si on ne peut compter sur lui. Et s'il se modifie, il peut devenir plus sensible et constituer un gros danger. Cette stabilité chimique, il faut la mettre à l'épreuve en faisant agir sur l'explosif des influences physiques variées et en voyant quel est le résultat. C'est là une étude capitale, demandant beaucoup de temps. Car, il ne faut pas se le dissimuler, les explosifs sont des personnages non pas sensibles et vertueux, comme ce fut la mode, mais sensibles et inconstants. Ils sont en équilibre instable. Les plus petites influences

peuvent les faire verser, c'est-à-dire exploser. Et ces petites influences existent partout : on ne peut soustraire les explosifs à un contact avec un milieu à la fois physique et chimique : aux influences de la température, de l'humidité, des gaz de l'air, etc. Des réactions lentes, résultant ou bien de l'influence de tels éléments de l'explosif sur tels autres qui en font aussi partie, ou sur des impuretés qui ont pu se faufiler, ou encore de l'influence du milieu ambiant sur tel des éléments de l'explosif, sont toujours possibles. En fait, on n'a guère confiance dans les explosifs. On ne les garde pas longtemps. Au bout d'un temps qui varie, — et qui a été déterminé précisément par les essais pratiques de conservation et de sécurité, — on les détruit d'une manière ou d'une autre. Ils ont cessé de plaire. Ou plutôt on sait trop combien ils sont devenus fantasques, incertains, déséquilibrés, et on s'en sépare.

L'AMORÇAGE DES EXPLOSIFS

Nul ne l'ignore, la vertu d'un explosif ne dépend pas seulement de sa personnalité ni des conditions qu'on lui a faites : le mode d'amorçage joue un rôle capital. Rien de surprenant à cela après ce qui a été dit de l'onde explosive : l'allumage simple fait brûler lentement un corps, l'amorce le fait détoner, dans un cas il se décompose progressivement, dans l'autre de façon foudroyante. L'amorçage a donc une importance capitale dans la pratique des explosifs. Encore une fois, la cartouche de dynamite qui nous a déjà servi brûle inoffensivement quand on y met le feu ; elle explose quand on fait partir à

côté d'elle une capsule de fulminate de mercure. Dans un cas, on a mis le feu : elle brûle; dans l'autre, on a déterminé une onde explosive, et elle explose. Une expérience bien simple montre que cette onde explosive se propage du reste à l'ambiance et que le choc mécanique qu'elle produit suffit à déterminer l'explosion par influence. Placez en ligne une série de cartouches de dynamite à 50 ou 70 centimètres d'espacement, et faites exploser la première : toutes les autres font de même tour à tour. L'onde déclenchée par la première est arrêtée dans la seconde où son énergie mécanique est convertie en énergie calorifique, d'où échauffement et décomposition explosive, et ainsi de suite.

La sensibilité des explosifs est très variable. Le coton-poudre mouillé veut une excitation dix milliards de fois plus forte que le fulminate d'argent. (H. Le Chatelier.)

Quelle est donc l'action de l'amorce? Elle agit mécaniquement ou bien en échauffant. Car, en somme, l'action de l'amorce est ou bien calorifique, ou bien mécanique : l'électricité souvent employée n'agit que transformée en chaleur.

La chaleur, à un degré qui est variable, fait toujours exploser un explosif. Tout explosif a sa température d'explosion propre. On la détermine expérimentalement, et on constate, par exemple, que le fulminate explose à 175°; la poudre sans fumée à 180°; la dynamite à 200° et la poudre noire à 280° C. Mais la réaction explosive commence, se met en train bien plus tôt. Elle est lente, par exemple, pour le coton-poudre, à la température ordinaire : au train dont elle va, l'explosion ne se produira qu'après des siècles... Chauffons à 110°, et c'est autre chose : le coton-poudre explosera en

quelques mois. Vers 100°, la vitesse de réaction passe au double pour une élévation de 5°. Plus près de la température d'inflammation, la vitesse devient telle que l'explosion se fait en quelques mois, en quelques semaines, en quelques jours, en quelques heures, en quelques minutes. Et à cette température même, la vitesse est devenue telle que l'explosion se produit. Bien entendu, au bout d'un temps qui varie, selon le poids d'explosif employé, en particulier. Dans un même milieu, à 180°, 1 gramme de coton-poudre met beaucoup moins de temps à prendre la température de 180° que ne le fait 1 kilo.

Cette action de la chaleur a été utilisée pour la vérification de la stabilité de la poudre sans fumée. La diminution de stabilité de celle-ci s'accompagne de phénomènes chimiques appréciables, du dégagement de vapeurs nitreuses. On chauffe de la poudre à une température donnée et on voit au bout de quel temps les vapeurs nitreuses apparaissent. Une formule qui traduit les relations de la température avec la vitesse des phénomènes chimiques permet de conclure de l'expérience combien de temps la poudre résistera à une température donnée (magasins, soutes de navires, etc.).

La température d'inflammation est très constante pour un même explosif. Si l'on constate ou croit constater des différences, c'est, le plus souvent, qu'on n'a pas pris garde à une imprudence qui est la cause véritable. C'est encore par une erreur de fabrication qu'une impureté a pu se produire, plus inflammable que le produit pur. Théoriquement, l'inflammation n'entraîne que la déflagration : l'explosif brûle, mais ne détone pas. En pratique, il détone parfois. On a vu exploser l'acide picrique,

qui, théoriquement, à la chaleur, finit par s'enflammer après distillation et décomposition : dans des incendies des provisions de mélinite (faite avec l'acide picrique) ont détoné contrairement aux prévisions. Pourquoi ? On ne sait au juste, mais il faut être averti de la possibilité d'une non-concordance de la pratique avec la théorie.

Du moment où le chauffage d'un explosif, ou plutôt son ignition, ne produit généralement que sa déflagration, sa combustion lente, on évite d'employer ce genre d'amorçage. Ce qu'on demande à un explosif, c'est d'exploser, de détoner. Et alors l'excitation mécanique est préférée à la calorifique.

L'excitation mécanique, c'est un coup, ou bien son équivalent, l'onde explosive résultant de l'explosion d'une petite quantité d'un détonateur très puissant et très sensible, auprès du corps dont on veut déterminer la décomposition.

Comme une action mécanique peut enflammer la poudre, on évite de la manier brusquement, ou bien de marcher dessus. Il en va de même pour les explosifs : on les ménage, on leur évite les heurts.

Le plus souvent, il est vrai, ces heurts n'auraient pas grand inconvénient.

Et, pour provoquer la détonation, on a recours aux détonateurs, à des explosifs puissants et sensibles. Certains, trop sensibles, ne peuvent être utilisés : l'iodure d'azote par exemple. Mais les fulminates, de mercure en particulier, rendent les plus grands services. Ils sont assez sensibles pour détoner par la chaleur comme par un choc moyen. Ils le sont assez peu pour que leur manipulation soit possible, et c'est là un point de grande importance.

Ces détonateurs, fulminate de mercure, azoture

de plomb, azides (trinitrides de sodium ou de plomb), sont placés dans un récipient séparé contre la masse de l'explosif, et explosent sous l'influence d'une action mécanique ou calorifique. L'onde explosive résultant de la décomposition du détonateur frappe l'explosif, est arrêtée par lui et transformée en chaleur : la couche superficielle, portée à haute température, explose, et agit sur la couche voisine, et ainsi de suite, le tout très vite, presque instantanément. Il y a des cas où les choses sont plus compliquées; avec les explosifs très rétifs, exigeant une excitation puissante, on emploie deux détonateurs. Le premier, de sensibilité moyenne, au fulminate, sert à en faire exploser un second, plus dur à la détente, et plus puissant en même temps, et c'est l'onde explosive du second qui fait détoner la masse utile, l'explosif proprement dit, qui est encore plus rétif et plus puissant. C'est l'explosion à 3 degrés : normalement elle est à 2 degrés. Le détonateur intermédiaire varie : c'est du coton-poudre sec pour amorcer le coton-poudre humide des torpilles; c'est l'acide picrique pulvérulent pour amorcer la mélinite (acide picrique fondu); le primaire, c'est du fulminate.

Notons en passant que le grand avantage de la mélinite (acide picrique fondu, et... le reste) est, comme l'a dit pittoresquement Eugène Turpin, son inventeur, que « c'est un explosif qui n'explose pas », ou à peu près : un explosif très stable, très dur à la détente, qu'on a pu mettre dans les obus sans risquer de voir éclater ceux-ci dans le canon même, au départ, comme cela a eu lieu avec la dynamite ou la nitroglycérine. Seulement, pour pouvoir utiliser cet acide picrique fondu, il fallait introduire un détonateur intermédiaire : le fulmi-

nate brisait le bloc d'acide picrique, mais ne le faisait pas exploser. En fait, la notion du double détonateur a été très fructueuse ; elle a permis l'emploi par l'artillerie d'explosifs extrêmement puissants, qui, en même temps, étaient très peu sensibles ; elle a rendu possible l'utilisation d'autres explosifs, nitrotoluènes, nitrobenzènes, nitronaphtalènes, etc., dont autrement on ne pouvait guère tirer parti.

Le détonateur joue donc un rôle capital dans l'utilisation des explosifs. Il constitue un intermédiaire plus sensible, qu'on fait partir par la chaleur ou le choc, et qui, à son tour, fait partir l'explosif dont on l'a rendu maître.

L'étude de la sensibilité générale des explosifs est donc d'une grande importance et il est essentiel de bien choisir l'amorce, de ne pas produire une simple déflagration de l'explosif quand c'est la détonation qu'on désire. Comme on dispose de détonateurs variés et gradués, les erreurs sont l'exception.

LE CHAPITRE DES ACCIDENTS

Des accidents se produisent pourtant. Je ne parle pas de ceux qui sont dus à des erreurs, des négligences, des imprudences, et qui se présenteront toujours, car l'homme prend trop vite le mépris du danger, dans les fabriques et dépôts, ou bien dans les parcs d'artillerie. Je n'ai en vue que les accidents qui ne devaient pas se produire, qui étaient théoriquement impossibles.

L'explosif est, par définition et par profession,

très sensible et instable. Ce sont ses vertus, cette sensibilité et cette instabilité ; ses périls aussi : non pour lui, mais pour le voisinage.

On croit bien connaître toutes les faiblesses d'un explosif, et on s'est attaché à écarter les tentations : et voilà pourtant un accident qui se produit contre toute prévision. A la cartouche de dynamite, à qui l'on présente une allumette, il arrive d'exploser au lieu de brûler. Pourquoi ? Théoriquement, et d'après les expériences, l'acide picrique est insensible à la chaleur. Elle ne le fait pas exploser. Et pourtant il a explosé dans certains incendies. Théoriquement on peut battre comme plâtre de la poudre noire sans qu'elle s'enflamme. Et pourtant on l'a vu déflagrer à la suite de chocs ou frottements insignifiants. La poudre sans fumée est présentée comme insensible aux actions mécaniques ; on l'a pourtant vue s'y montrer très sensible. Et ainsi de suite. On sait bien qu'en théorie chaque explosif a ses côtés faibles, sa sensibilité spéciale, qu'il y a des influences auxquelles on ne doit pas l'exposer : mais on sait aussi qu'en pratique il a souvent failli dans des cas où il eût dû résister. Etait-il moins pur, contenait-il des composés trop sensibles ? Tant d'hypothèses sont permises... Par contre, en certains cas, les explosifs offrent une résistance inattendue et refusent d'exploser sous les conditions où théoriquement c'est leur devoir absolu. Caprice ? Autant dire « hasard », qui signifie qu'on ne sait pas, qu'on ne voit pas. Il n'y a pas de hasard. L'explication est ailleurs. En bien des cas, pour commencer, on croit connaître les conditions, et il y en a qu'on ignorait. Les eût-on connues, rien ne surprenait dans ce qui s'est produit.

Et, d'autre part, il y a le fait que les explosifs sont

sujets à des altérations dites spontanées, c'est-à-dire dues à des causes qu'on n'aperçoit pas encore : il importe de toujours définir les termes. Des réactions variées se produisent : soit en eux, entre les éléments qui les composent ; soit entre eux et l'ambiance, solide ou gazeuse. Ils sont au contact de corps divers : cela suffit pour que lentement, progressivement, s'établissent des réactions de décomposition. Dès lors, l'explosif n'est plus lui-même, il est devenu un personnage nouveau dont on ne sait rien de précis, dont il faut tout attendre. La sagesse, en pareil cas, c'est de ne plus avoir de rapports avec lui. Ainsi procède-t-on avec la dynamite. Dès qu'elle atteint un an d'âge il faut la détruire et n'en pas faire usage. Elle est devenue chose incertaine et dangereuse. Pour le coton-poudre c'est autre chose. Comme il faut toujours avoir une grosse quantité de coton-poudre toute prête pour le cas de guerre, et qu'il est, lui aussi, instable et se décompose, on a cherché des moyens de le stabiliser, c'est-à-dire de lui donner le moyen de durer sans vieillir, de résister au temps. On y est parvenu d'ailleurs : nous verrons plus loin comment.

CLASSIFICATION DES EXPLOSIFS

Dans leur excellent ouvrage, MM. L. Vennin et G. Chesneau classent les explosifs de la façon suivante :

a) *Mélanges explosifs de corps non explosifs.* — Ce sont les mélanges de corps comburants avec des corps combustibles. Le comburant est généralement

fourni par les nitrates, le peroxyde d'azote, les chlorates ou perchlorates, quelques oxydes, bichromates, etc..., corps riches en oxygène ; par exception, c'est l'air ou l'oxygène à l'état liquide. Le combustible varie : charbon, goudron, pétrole, naphtaline, cellulose, soufre, etc... ; parfois c'est un gaz : l'hydrogène dans le gaz détonant.

b) *Mélanges explosifs formés au moment de l'emploi.* — Ils appartiennent à la catégorie précédente, mais avec cette particularité qu'il n'est possible de les préparer qu'au dernier moment, ce qui n'est pas le cas des premiers.

c) *Mélanges contenant des corps explosifs.* — Dans ces mélanges, il faut ajouter quelque chose à l'explosif pour le rendre plus maniable (dynamite), pour lui donner quelque chose à brûler parce qu'il est trop riche en oxygène (dynamite au charbon), pour augmenter son pouvoir comburant parce qu'il est pauvre en oxygène, au contraire, ou même n'en contient pas (acide picrique) ; enfin il y a le cas où l'on associe un explosif pauvre en oxygène à un autre riche en ce gaz (nitroglycérine et nitrocellulose).

Les réactions explosives se présentent donc comme consistant essentiellement en combinaisons de corps comburants et combustibles, ou combustions. En fait, toutes présentent ce caractère dans les explosions usuelles ; les cas où il y a décomposition en éléments plus simples, ou destruction d'un édifice moléculaire peu stable (sulfure d'azote par exemple) sont l'infime minorité. Une explosion, c'est essentiellement une combustion très violente, très rapide, plus ou moins complète d'ailleurs.

comme le fait voir la composition des gaz constituant les produits ultimes de la réaction. On n'ignore pas d'ailleurs que, dans les mines de houille où il y a des poussières de charbon, et dans diverses usines où il y a des poussières inflammables (farine, etc.), des explosions se produisent par ignition de celles-ci.

LA POUDRE NOIRE

Le plus ancien explosif est la classique poudre à canon, qui nous serait venue de Chine par les Arabes. Les Chinois n'ont pas inauguré le canon, toutefois; la poudre leur servit à faire des fusées et des mélanges incendiaires. Le premier fusil paraît avoir été créé par les Arabes et il lançait des projectiles en forme de flèches. Il n'y aurait, en tout cas, aucun mérite d'inventeur à attribuer à Roger Bacon, ni au moine Schwartz, ni au moine Severinus, ni au juif Tibseles, en ce qui concerne la découverte de la poudre.

Au treizième siècle, en tout cas au quatorzième, canon et bombardes existaient, et, s'il faut en croire Machiavel, « ce système d'armement a été imaginé par les Allemands ». (Déjà le bluff boche...) En 1338, la poudre jouait un rôle au siège de Puy-Guillaume (Puy-de-Dôme).

Depuis le quatorzième siècle, la poudre noire est en usage. On sait en quoi elle consiste ; depuis 1578, le dosage rituel est : 75 de salpêtre ou azotate de potasse pour 12,5 de charbon de bois et 12,5 de soufre, en moyenne. La brune est faite avec du charbon calciné à 300° seulement (au lieu de 400°

et plus pour la poudre noire), qui reste très riche en hydrogène et très combustible. Elle laisse un résidu solide représentant plus de moitié de son poids, d'où la fumée. Elle déflagre, elle ne détone pas. Les explosions sont moins à redouter. Mais elle est très inflammable par choc ou frottement.

Son rôle comme explosif est devenu très limité, car c'est un explosif lent; la propagation de la combustion du soufre et du charbon se fait de façon intermédiaire à la très lente et à la très rapide, par déflagration. La poudre noire, malgré la concurrence de la dynamite, conserve la faveur de beaucoup de carriers, qui la préfèrent comme moins apte à fendre et déchiqueter la roche et comme donnant plus de grands morceaux. Comme agent de propulsion, elle a tenu une grande place, toute la place, plus exactement, mais celle-ci lui a été ravie par la poudre sans fumée, plus puissante. Jusqu'à ces dernières années, c'était la poudre noire qui servait à charger fusils et canons. Elle se conservait bien : on en voit aux Invalides, datant du grand Condé, et qui est encore en bon état. Mais elle a le défaut d'être brisante. Elle agit trop vite; elle brûle trop promptement; c'est détestable pour l'arme, fusil ou canon, et pour le projectile aussi, car on ne peut lui assurer une bonne portée qu'en risquant de faire éclater l'arme. Et même avec ce risque, on ne réussit pas. De ce médiocre agent de propulsion, on ne s'est si longtemps contenté que faute de mieux. La majeure partie de sa force expansive se développe alors que le projectile est encore au repos et se dépense inutilement contre les parois du canon. La combustion se ralentit au moment où s'ébranle le projectile, juste quand elle devrait s'accroître. Déplorable

affaire aux points de vue balistique et économique.

On s'en rendait bien compte, et depuis longtemps on cherchait à rendre progressive la poudre noire, à lui assurer une combustion plus lente. Dès la Révolution, on y tâchait, d'abord en fabriquant la poudre à gros grains, puis par d'autres procédés. En Allemagne, vers 1881, on lançait la poudre chocolat (77 ou 79 salpêtre, 18 ou 20 charbon et 3 soufre) où le charbon, fabriqué avec de la paille ou du bois, est très dur. La combustion en est plus progressive; la poudre chocolat prit partout à la guerre la place de la poudre noire. Elle se présente sous forme de prismes troués. C'était un progrès relatif. On devait bientôt trouver beaucoup mieux en France.

La poudre noire joue pourtant encore un rôle en artillerie. Elle servait hier et, sans doute, sert aujourd'hui encore, à charger l'obus à balles ou shrapnell. Les balles, au nombre de trois cents, sont noyées dans la poudre; quand celle-ci déflagre, l'obus s'ouvre, fait office de canon et les balles se répandent en avant chassées par l'explosion.

Il faut conserver quelque reconnaissance à la poudre. Elle a été un instrument de civilisation. Elle a permis de tenir en échec les Barbares et d'abattre la féodalité. Elle a beaucoup fait et fait encore beaucoup pour l'industrie depuis le dix-septième siècle, en ouvrant les galeries de mines et permettant de tirer du sol les ressources minérales et les combustibles, en perforant les montagnes et facilitant les transactions et rapports. On peut donc ne pas partager l'opinion de Sébastien Munster qui, en 1554, estime que « le vilain qui apporta sur la terre une chose aussi affreuse n'est certes pas digne

d'avoir son nom inscrit dans les mémoires des hommes ». En fait, digne ou non, il ne l'a pas...

Les poudres noires usitées en France sont de six ou sept types différents : poudres de chasse, de guerre, brune, poudres de mines (fortes ou ordinaires), pulvérisée, poudre de mine lente. Les trois éléments traditionnels s'y trouvent dans des proportions variant de 40 à 78 pour le salpêtre, de 3 à 30 pour le soufre, de 12 à 30 pour le charbon.

Aussi la force et le potentiel de ces diverses poudres varient-ils sensiblement. Ils varient avec le dosage, et aussi avec la texture. On réduit la vivacité de la poudre en augmentant la grosseur de ses grains. Diverses conditions agissent de même ou bien en sens inverse : les procédés de fabrication, les tours de main, la texture de la poudre jouent un grand rôle, par conséquent ils permettent d'agir sensiblement sur les propriétés de celle-ci, pour l'approprier à des besognes variées.

On observera que la poudre se rattache au feu grégeois dont elle diffère par la présence du charbon qui manque au mélange incendiaire des anciens.

Le kilo de poudre dégage 225 litres de gaz et 740 calories. C'est Gay-Lussac qui, le premier, a fait connaître la composition des produits résultant de la déflagration de la poudre : acide carbonique 53, oxyde de carbone 42, azote 5, avec des traces de bioxyde d'azote, de carbure d'hydrogène, de carbonate et sulfate de potassium, de sulfures, d'hyposulfites. La température de combustion est de plus de 2.000° C., et sous densité de chargement égale à l'unité, c'est-à-dire à raison de 1 gramme par centimètre cube, la pression en vase

clos est de près de 7.000 atmosphères. Très sensible au choc, aux pressions, elle est d'une fabrication difficile.

Le feu grégeois qui, en 668, dispersa les Arabes occupés à assiéger Constantinople, et en chassa de nouveau la flotte de 716 à 718, ne contenait probablement pas de salpêtre à l'origine. Mais au treizième siècle, il en contenait ; les Arabes le connaissaient, peut-être par l'intermédiaire des Chinois. Roger Bacon a certainement connu le salpêtre (Voir son *Epistola de secretis* et l'*Opus tertium*).

EXPLOSIFS CHLORATÉS

En 1785, Berthollet, le chimiste français, ayant découvert le chlorate de potasse, pensa pouvoir le substituer au salpêtre dans la poudre noire. C'était faisable en effet, et rationnel : car le chlorate est riche en oxygène, et peut plus facilement que le nitrate le céder au soufre et au charbon, mais c'était dangereux aussi. La poudrerie d'Essonnes où se préparait la nouvelle poudre sauta sous les yeux de l'illustre savant et de Lavoisier qui l'accompagnait. L'événement était dû au chlorate de potasse, qui est d'une grande sensibilité, et qui, à chaud, explose par le frottement, et la catastrophe découragea pour un temps les chercheurs. En lui-même, le chlorate n'est pourtant pas si dangereux : mais au voisinage du soufre et de divers combustibles il prend une sensibilité redoutable et explose.

Aussi, quand les chimistes, après un certain temps, se remirent à interroger le chlorate, ils évitèrent le soufre. La poudre Berthollet comprenait

75 de chlorate, 12,50 de soufre et 15 de charbon. Dans la poudre Augendre de 1849, le chlorate était associé au prussiate de potasse et au sucre; en 1850, la poudre Melville était faite de chlorate, avec sulfure d'arsenic et sulfate de potassium; en 1852, la poudre Davay comprenait chlorate, nitrate et prussiate. Français, Russes, Anglais et Américains rivalisèrent d'ingéniosité pour rendre utilisable le chlorate. En 1882, une poudre chloratée industrielle fit son apparition : l'Asphaline, composée de chlorate et nitrate de potasse et de son. Le Prométhée, le Rack-a-rock qui suivirent furent plus perfectionnés. Les poudres au chlorate nécessitant un malaxage pour la confection des mélanges sont évidemment d'une fabrication impossible. De là, le succès des explosifs type Rack-a-rock.

Ce sont des explosifs formés d'un liquide et d'un solide qu'on ne mélange qu'au moment de s'en servir.

Le Rack-a-rock de l'Américain Devine comprend 79 de chlorate de potassium : le combustible consiste en nitrobenzol (21) avec ou sans acide picrique ou substances nitrées diverses. Mais la forme sous laquelle le chlorate est le plus avantageusement employé paraît être celle qu'il prend dans la Cheddite. La Cheddite, découverte par l'Anglais E. A. G. Street, et qui tire son nom de Chedde, en Haute-Savoie, où elle est fabriquée par voie électrolytique, se fait selon plusieurs formules dont il est inutile d'indiquer le détail. Ce qui caractérise la Cheddite c'est l'enrobement du chlorate dans une huile ou une graisse qui en fait un produit plus plastique et presque insensible aux agents atmosphériques. Qu'il suffise de dire que les Cheddites sont composées de chlorate de potassium (80)

additionné de nitro-naphtaline (12) et d'un hydrocarbure, paraffine ou huile de ricin par exemple (8); autrefois on y joignait un composé picrique. Les Cheddites sont de types divers, répondant à des situations diverses. Elles ne coûtent pas trop cher, et c'est une considération qui compte. Il en est qui explosent avec douceur, pour ainsi dire. Selon l'amorce et selon leur composition, elles déflagrent ou bien détonent avec violence. La Steelite anglaise et la Silesia allemande sont des sœurs de la Cheddite. Quoique pouvant déflagrer au lieu de détoner, ces produits ne sont employés que comme explosifs (bombes, obus, etc.). Ils ne sauraient servir de poudre de propulsion.

Les avantages de la Cheddite sont évidents. La préparation du chlorate de potasse est facile, la fabrication simple; le produit peu sensible au choc; l'inflammation spontanée n'existe pas, et la stabilité est grande. L'huile, la vaseline, la paraffine, servent à enrober le chlorate et à le mettre à l'abri de l'humidité et du frottement. La Cheddite s'emploie en cartouches paraffinées. Elle donne beaucoup d'oxyde de carbone, ce qui est un inconvénient dans les galeries de mines. La Cheddite demande une forte amorce de fulminate pour exploser, surtout quand elle est vieille, et sa puissance spécifique la rend comparable aux dynamites. Celle-ci peut être renforcée en substituant au chlorate de potasse, le chlorate ou surtout le perchlorate d'ammoniaque. On pourrait l'utiliser comme agent de propulsion, car elle déflagre par la chaleur; mais elle risque de détoner aussi sous l'influence de cet agent. Aussi ne l'utilise-t-on que comme explosif brisant.

A côté des explosifs au chlorate, il y a quelques

explosifs aux perchlorates assez appréciés à cause de leur stabilité : ils entrent dans la composition de la Permonite, de la Polarite, de la poudre Ajax, du Dynobel.

La Cheddite est quotidiennement employée en ce moment pour charger obus, grenades et bombes d'aéroplane, comme les autres explosifs de guerre.

C'est aussi avec le chlorate de potasse que sont chargées une partie des balles explosives des Autrichiens. Je dis partie, car dans celles qu'a examinées le Dr Lardy, de Genève, c'est de la poudre noire qu'il a trouvée. Ces balles explosives, authentiques, prises par les Serbes dans le matériel de guerre autrichien, balles qu'il ne faut pas confondre avec celles qu'on nomme expansives ou dum-dum, et qui, ayant la pointe en plomb, s'aplatissent et se déchirent, ces balles explosives, niées avec des protestations indignées de vertu et d'humanité par la *Kultur* germanique, sont figurées par M. Lardy. Ce sont des projectiles du calibre d'ordonnance, en tous points semblables aux projectiles usuels et licites : un petit renflement à la pointe permet toutefois de les distinguer de ceux-ci, même de nuit. L'avant de la balle est en plomb : tout son milieu constitue un petit obus : la chemise en acier est pleine de poudre noire, ou bien d'un mélange explosif de chlorate et de nitrate de potasse avec du sulfure d'antimoine et du verre pilé, au culot, un percuteur qui, dès que la balle est arrêtée dans la blessure, glisse en avant, en vertu de la vitesse acquise, et vient frapper une amorce qui fait exploser le mélange. C'est la balle explosible parfaitement caractérisée : la balle-obus, interdite par les conventions, mais que le mépris des « chiffons de papier » permet à certains belligérants d'em-

ployer. Cette balle a été trouvée non seulement dans les caissons de munitions allemandes, mais aussi dans les blessures des Serbes; elle a été employée encore contre nos soldats, en particulier à Crouy, au col de La Chipote, à Ypres et à Arras [1].

LES FULMINATES

Continuant selon l'ordre chronologique, nous voyons que dès 1799 un Anglais, E. Howard, membre de la Société royale de Londres, obtenait le fulminate de mercure. On connaissait les fulminates d'or et d'argent : Pepys en parle en 1663. Mais ils sont d'une sensibilité exagérée. Howard, en traitant l'azotate de mercure par l'alcool et l'acide azotique, obtint un fulminate moins nerveux. Quinze ans après, les capsules au fulminate étaient appliquées au fusil; elles durèrent jusqu'au moment où Lefaucheux inventa son fusil et ses cartouches. Beaucoup trop sensible et altérable pour servir d'explosif, le fulminate de mercure sert exclusivement à fabriquer des capsules et amorces qui engendrent une onde explosive et, par là, font détoner les explosifs. Incapable de déflagrer, il détone invariablement. Il est très puissant et met en marche les explosifs les plus durs à la détente : c'est dire son importance. Observons que, si l'on connaît la formule du fulminate par les recherches

(1) Voir Lardy, *Journal* de Lucas Championnière, 10 juin 1915; Mauclaire, *Soc. de Chirurgie,* séance du 14 avril 1915, et Reiss, *Revue de Paris*, 1er avril 1915.

de Berthelot et Vieille, on reste perplexe à l'égard de sa nature. On y voit un sel d'un acide fulminique hypothétique, qui aurait, en tout cas, des rapports avec le cyanogène. Le fulminate est un mystère, mais un mystère utilisable, et qui rend de grands services en pratique, à condition de lui associer des substances modératrices pour l'empêcher d'exploser tout seul.

Il est employé dans bien des projectiles explosifs ; il sert aussi dans les exploitations industrielles ; c'est un collaborateur très apprécié, toujours pour déterminer la détonation de la charge du projectile ou de la mine.

Nous avons vu que certains corps déflagrent (poudre noire) ; certains déflagrent ou détonent selon les conditions (explosifs chloratés) ; les fulminates, eux, ne savent que détoner. Rien de plus explosif. Le kilo de fulminate de mercure dégage 314 litres de gaz ; la température d'explosion est de 3.000° C. C'est un corps qui se décompose très facilement à l'humidité, et qui est d'une sensibilité extraordinaire aux frottements et chocs. Chacun a vu les capsules de fulminate exploser sous le percuteur.

Le fulminate est souvent remplacé, comme initiateur de détonation ou d'explosion d'une substance explosive, par l'azide d'argent, un sel d'acide hydrazoïque (composé d'azote et d'hydrogène) qui paraît préférable à divers égards.

C'est peut-être le plus formidable des explosifs. Détonant dans son propre volume, il développe une pression de 28.750 kilos par centimètre carré (au lieu de 12.376 pour la nitroglycérine et 9.825 pour le fulmicoton). Aussi a-t-on soin, même pour l'employer comme détonateur, de le domestiquer quel-

que peu, en y ajoutant d'autres substances qui en diminuent la sensibilité et la violence.

LES CELLULOSES NITRÉES

Trente-trois ans plus tard, en 1832, un nouveau type d'explosif prenait naissance. C'était à Nancy : le chimiste Braconnot, notre compatriote, en traitant l'amidon, les fibres de bois et d'autres substances analogues, par l'acide azotique concentré, obtenait un produit léger, blanc, prenant feu avec une facilité toute particulière. Il lui donna le nom de xyloïdine, rappelant sa parenté avec le bois. Ce fut le début des nitrocelluloses dont le coton-poudre fait partie.

En 1838, un autre Français, Pelouze, répétait les expériences de Braconnot et les étendait. Il constatait ainsi que toute cellulose plongée dans l'acide azotique, puis lavée et séchée, donne une substance très inflammable, utilisable en pyrotechnie.

Peu après, J.-B. Dumas nitrifiait le papier à son tour — c'est une cellulose — et proposait d'utiliser sa « nitramidine », comme il l'appelait, dans la confection des gargousses d'artillerie. Ceci se passait en 1845.

En 1846, un Suisse, Schoenbein, de Bâle, qui venait de découvrir l'ozone, perfectionnait la découverte française. En traitant la cellulose par un mélange d'acides nitrique et sulfurique et non par l'acide nitrique seul, il obtenait un corps plus actif. Aussitôt, il s'efforça de vendre son secret, reconnaissant l'importance du coton-poudre comme explosif. La chose était dans l'air, évidemment,

car d'autres obtenaient des résultats très similaires. Et comme cellulose, Schoenbein employait le coton, qui, depuis, reste la cellulose d'élection.

Schoenbein prit un brevet en Angleterre, mais, dit M. A. Marshall qui donne une relation historique fort intéressante, avant un an une explosion désastreuse arrêtait la fabrication. D'autres, à Vincennes et au Bouchet, refroidirent encore le zèle, de sorte que le *Deutscher Bund* à qui Schoenbein avait offert de vendre son procédé préféra s'abstenir. Le représentant de l'Autriche, von Lenk, insista toutefois, et l'Autriche l'acheta. Von Lenk introduisit quelques perfectionnements et employa le coton-poudre dans les gargousses. Le résultat fut déplorable. Le coton-poudre mettait les canons hors d'usage. On l'avait introduit dans les projectiles aussi : ils éclatèrent dans le canon même. Le dépôt de coton-poudre fit explosion par surcroît, et après toutes ces aventures l'Autriche renonça à l'emploi d'une substance aussi dangereuse, et von Lenk essaya d'en vendre le secret aux voisins : en France et en Angleterre notamment. Celles-ci, avisées, se retinrent, mais les chimistes allemands cherchaient. Ils voyaient bien l'intérêt du coton-poudre. Ce fut Abel, le chimiste de la Guerre, en Angleterre, qui arriva le premier à fabriquer, à Waltham Abbey, un coton-poudre de sûreté, par la réduction de celui-ci en pulpe qu'il lavait et comprimait ensuite. Ce coton-poudre était sûr, mais variable aussi. Il ne valait pas grand'chose pour l'artillerie : on le réserva pour les explosions industrielles, les mines, les carrières. Mais E.-A. Brown, l'assistant d'Abel, trouva deux faits importants : l'action du fulminate sur le coton comprimé sec, et le fait qu'un peu de coton sec fait exploser le coton mouillé. On peut

donc emmagasiner et conserver le coton à l'état humide où il est beaucoup moins sensible, et c'est ce coton humide qu'on emploie dans les torpilles. Sans doute, on obtint, en Allemagne et en Angleterre, d'assez bonnes poudres apparentées au coton-poudre : les poudres Schultze d'abord, dues à un artilleur prussien, mais elles ne convenaient qu'à la chasse. En outre c'étaient des variantes, faites de bois et de salpêtre, puis nitrifiées. Le coton-poudre n'est devenu explosif de guerre qu'après avoir été parachevé par Louis Ménard et Florès Domonte, et par M. Vieille. En 1846, dans une note à l'Académie des Sciences, Ménard et Domonte montraient que le coton-poudre est soluble dans un mélange d'alcool et d'éther ; ainsi dissous, c'est le collodion bien connu, utilisé en chirurgie et en photographie. Ainsi était découverte la gélatinisation du coton-poudre d'où est sortie la poudre sans fumée, car l'œuvre de M. Vieille a consisté à trouver un procédé pratique de gélatinisation du coton-poudre, et la forme à donner à celui-ci. Ce coton, résultant du mélange de cotons-poudres définis et différents, gélatinisé, c'est-à-dire malaxé et mis en pâte, puis laminé et séché, se présente en lames, ou cubes, ou filaments, homogènes, stables, et d'une régularité parfaite.

Il faut s'arrêter un moment sur ce point.

Nous avons parlé du mode de propagation de la combustion appelé déflagration. Il existe pour les explosifs solides tout comme pour les gazeux : c'est le mode caractérisant la poudre noire. Or, il comporte un gros inconvénient.

Que se passait-il en effet dans le canon ou le fusil avec les poudres noires classiques ? La combustion était très rapide : à tel point qu'elle était achevée

avant que le projectile se fût déplacé appréciablement. Donc, pression initiale très élevée, puis diminuant rapidement à mesure que se sauvait le projectile et que les gaz brûlés se détendaient et refroidissaient. Sans doute, on pouvait augmenter la portée en augmentant la charge, c'est-à-dire la pression initiale, mais celle-ci risquait de devenir trop forte pour la résistance de l'arme, qui aurait éclaté. M. Vieille chercha donc un autre moyen de domestiquer la poudre ; il tenta d'en rendre la combustion progressive. Il est évident que, si l'on peut ralentir cette combustion de telle sorte qu'elle dure plus longtemps et ne s'achève qu'au moment où le projectile est dehors, de sorte que celui-ci a subi son effet durant tout son parcours, l'utilisation de l'énergie de l'explosif est beaucoup plus complète en même temps que rationnelle et économique. La force vive communiquée à la balle ou à l'obus est en effet doublée.

Mais comment ralentir la combustion ? Les moyens ne manquaient pas. On pouvait — il s'agissait de la poudre noire — on pouvait comprimer celle-ci, augmenter la grosseur des grains, diminuer le soufre, substituer des charbons roux, moins combustibles, au noir. On pouvait tout cela. Mais pas de façon régulière, constante. Et du moment où la qualité de la poudre n'était pas invariable, le réglage du tir était impossible. On gagnait en portée, mais on perdait en précision : profit nul, ou à peu près.

Ayant longuement expérimenté, M. Vieille constatait que la vitesse de déflagration de la poudre noire, qu'il s'agissait d'atténuer, de diminuer pour rendre celle-ci plus progressive et moins brisante, dépend essentiellement de deux facteurs : de l'état

de division de la substance explosive et de la pression des gaz. Ainsi, de la poudre noire comprimée sous une pression de 1.000 kilos par centimètre carré en une masse compacte brûle à raison de 13 millimètres par seconde. La même poudre, étalée sur le sol, brûle à raison de plusieurs mètres dans le même temps. En vase clos, il en allait de même : le temps variait de 1 à 100 selon que la poudre était en poussière ou comprimée. D'autre part la pression agit très nettement : la vitesse de combustion croît proportionnellement à la pression actuelle des produits de l'explosion.

Tenant compte de ces deux faits, M. Vieille avait donc appliqué les connaissances nouvelles à la poudre noire. Seulement, comme nous venons de le dire, la fabrication d'une poudre noire de qualité constante se montra impossible.

Dans ces conditions il laissa là les poudres noires, désespérant d'en rien tirer de bon, et il s'adressa à la nitrocellulose gélatinée, c'est-à-dire dissoute (comme le collodion et le celluloïd, qui sont des nitrocelluloses dissoutes dans l'alcool et l'éther, avec camphre en plus pour obtenir le celluloïd). La raison était que cette nitrocellulose peut facilement être taillée en lames, ou baguettes de formes rigoureusement identiques, et, partant, fournir des charges qui, elles aussi, sont rigoureusement identiques. D'un côté, par sa lenteur relative de combustion, la nitrocellulose assure l'action progressive sur le projectile; de l'autre, elle permet, par la constance absolue des éléments explosifs, l'obtention de charges identiques. La grande portée est acquise, et la précision du tir subsiste. Double profit. Un troisième s'y est joint : l'absence de fumée. Le fulmicoton brûle intégralement sans fumée, et

ces trois caractères de la poudre sans fumée dont M. Vieille est le glorieux inventeur ont radicalement transformé l'artillerie, et la guerre en général, aussi.

On s'étonnera peut-être que la forme et les dimensions de la nitrocellulose puissent jouer un rôle aussi important. Mais on comprendra qu'il en soit ainsi à l'énoncé suivant, de l'éminent ingénieur, qui est capital : « Lorsque la combustion s'opère par couches parallèles, les durées de combustion en vase clos, sous une même densité de chargement, de grains de même matière, géométriquement semblables, sont dans le rapport de similitude. » La découverte de ce fait d'observation est la chose capitale : il en résulte que des caractéristiques extérieures que l'on donne à la nitrocellulose (qui peut recevoir toutes les formes et présenter toutes les dimensions) dépendent les propriétés de celle-ci : on obtient des durées de combustion variables à volonté selon les dimensions et les formes données.

Dès lors le coton-poudre est chose nouvelle.

Ce n'est plus l'explosif brisant et dangereux du début, c'est une poudre progressive « rationalisée », le prototype des poudres similaires : de la Cordite anglaise, de la poudre Nobel ou Balistite, et de vingt autres poudres sans fumée. Le rôle qu'a joué la science française dans cette découverte est, on le voit, capital. N'oublions pas que, si l'on peut utiliser d'autres celluloses, aucune ne vaut le coton. Le coton est essentiel à l'artillerie. La poudre sans fumée sert à chasser obus et balles, à charger fusils, canons, obusiers. C'est là sa principale mission, et on sait si elle s'en acquitte bien. Elle sert aussi, parfois, à charger les projectiles.

Le coton est-il indispensable ? Non assurément. Toute cellulose peut être nitrée aussi bien que le coton, et les celluloses sont innombrables : le bois, les fibres végétales, le coton, le kapok, la ramie, la paille, le son, la fibre de coco, tout cela peut donner de la nitrocellulose. La poudre prussienne Schultze qui a servi de poudre de chasse est une nitrocellulose à base de bois réduit en farine.

Les nitrocelluloses sont diversement nitrées : affaire de procédés de fabrication, mais elles sont d'inégale valeur aussi.

La poudre sans fumée est du fulmicoton (obtenu en traitant du coton par un mélange d'acides sulfurique et nitrique) qu'on a gélatinisé en le dissolvant dans un mélange d'alcool et d'éther. Par ce traitement le coton devient une sorte de pâte qu'on passe au laminoir d'où elle sort en feuilles que l'on découpe en cubes, filaments, etc., selon le but, puisque la forme a une telle importance.

L'excellence de la poudre sans fumée ne se discute pas.

Pourtant de mauvais bruits ont couru au sujet de sa stabilité. Elle fut adoptée en 1886, à la veille de l'incident Schnæbelé. En 1907, l'*Iéna* saute à Toulon ; en 1911, la *Liberté* fait de même, et on attribue ces désastres à la poudre B. Dès 1896, on avait des inquiétudes. La poudre B est un corps colloïdal, partant instable et en évolution. Et rien n'est plus en état d'équilibre instable qu'un explosif : il est l'instabilité même, par définition. On s'aperçut de taches de mauvais augure, sur les approvisionnements, de vapeurs nitreuses, rouges, suffocantes. Les taches verdâtres et huileuses peuvent même aboutir à la combustion spontanée, mais non à l'explosion, jusqu'ici du moins. Cela

pouvait et devait tenir à de l'humidité : il en reste toujours un peu comme résidu de fabrication, et il y en a dans l'air ; à de la chaleur aussi : les expériences de Versailles le firent voir. Les accidents, il faut l'observer, ne se sont produits que sur des navires, et là, chaleur et humidité sont réunies. On chercha alors des stabilisants, c'est-à-dire des corps qui, ajoutés au dissolvant (alcool-éther), retardent les oxydations, altérations et autres troubles qui s'opposent à une longue conservation des poudres nitrées, et le capitaine Lepidi, du Bouchet, trouva la diphénylamine qui multiplie par 5 la durée de la vie de la poudre sans fumée. En même temps on a cherché des épreuves de stabilité. « L'idée directrice de toutes les épreuves de stabilité est la même, a dit M. Daniel Berthelot dans un mémoire des plus intéressants (*La Poudre B et les poudres balistiques modernes sans fumée* [*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils,* sept. 1912]), c'est d'accélérer la dégradation spontanée des poudres de manière à produire en quelques mois, quelques jours ou quelques heures, des réactions qui, livrées à elles-mêmes, auraient duré des années. » On soumet donc la poudre à des épreuves de chaleur et de lumière. Le résultat général des recherches du très distingué chimiste est que les accidents, à supposer qu'ils soient réellement imputables aux poudres, ce qui n'est pas prouvé, peuvent être évités en donnant plus de soin au choix des matières premières (rappelons-nous l'affaire Cadiou et exigeons qu'on nous fasse connaître toute la vérité...), trop souvent sophistiquées, truquées par des marchands bons à pendre, et en faisant usage de stabilisants, de substances susceptibles d'absorber les produits nitreux qui se dégagent : diphé-

nylamine, urée, aniline. Dans ces conditions, dit-il, on évitera les matières étrangères paraissant être le point de départ des altérations que favorisent et accélèrent la chaleur et l'humidité.

On aura fait tout ce qu'on devait. Mais cela suffira-t-il toujours ? On en peut douter. Évidemment il ne faut pas conserver trop longtemps la poudre nitrée : elle est par définition trop instable. Elle est trop sensible aussi. Et peut-être ne vivra-t-elle qu'un temps. « Le feu grégeois a duré dix siècles, la poudre noire cinq siècles. Combien dureront les poudres à nitrocellulose », demande Daniel Berthelot ?

Sa réponse est intéressante. En tâtant le pouls, pour ainsi dire, à divers corps organiques au moyen des rayons ultra-violets, D. Berthelot a reconnu parmi ceux-ci deux catégories de corps, ceux à structure linéaire, comme la cellulose, qui sont instables ; ceux à structure cyclique, qui sont stables. « Un jour viendra sans doute où on trouvera un corps nitré à chaîne fermée qui répondra aux conditions multiples qu'exige la pratique. Ce jour-là, on aura une poudre qui sera, à la fois, stable comme les anciennes poudres minérales et progressive comme les poudres organiques modernes. »

La poudre nitrée française, poudre B, poudre Vieille, etc., a des émules, naturellement.

Voici d'abord la Cordite anglaise (due à Abel), composée de fulmicoton (65) dissous dans la nitroglycérine (30), additionnée d'un peu de vaseline (5). Elle se fabrique en fils ; elle est bonne, mais, à séjourner longtemps dans les soutes, perd de sa vigueur. Puis c'est la Balistite italienne (nitroglycérine, 60, coton nitré, 40, diphénylamine, 1 ou 2) : elle se présente en lanières, losanges, petits cubes.

En Allemagne, on emploie la poudre type Vieille pour le fusil et l'artillerie de terre, la poudre type anglais pour l'artillerie de marine. Ces poudres à la nitroglycérine ont une température très élevée et fatiguent beaucoup les canons.

Il importe d'observer que, s'il y a plusieurs celluloses nitrées, trois seules sont intéressantes : la cellulose endécanitrique (fulmicoton, coton-poudre, coton nitré), utilisée à charger les torpilles et mines sous-marines ; et les cotons octo- et ennéanitriques, qui constituent la poudre sans fumée.

Les gaz produits par le coton de guerre sont l'oxyde de carbone, l'acide carbonique, l'hydrogène, l'azote, la vapeur d'eau. Chaque kilo donne en explosant 859 litres de gaz (température de détonation 2.500).

Le coton-poudre, très dangereux à manier quand il est sec, car il s'enflamme par le plus léger frottement, a des parents bien connus, et innocents : le collodion, qui est une cellulose nitrée dissoute dans un mélange d'alcool et d'éther, et qui aide à comprendre que du coton-poudre puisse devenir semblable à de la gélatine, liquide ou solide ; et le celluloïd, mélange de camphre et de cellulose nitrée dans l'alcool, qui brûle très facilement, et même détone : par exemple dans l'huile chaude (à 160° environ). Il y a encore la soie artificielle de M. de Chardonnet, qui est une nitrocellulose dissoute dans l'alcool et l'éther, filtrée, et forcée dans des orifices capillaires en fils fins qui, au contact de l'eau froide, se solidifient.

NITROGLYCÉRINE ET DYNAMITE

Le fulmicoton, tel que le constitua Schoenbein, en étendant l'œuvre de Braconnot, avait à peine fait son apparition en 1846 que, la même année, un nouvel astre se levait dans le monde des explosifs. Un chimiste italien, Ascanio Sobrero, qui travaillait chez Pelouze, comme Aimé Girard, Berthelot, Davanne, y trouva la nitroglycérine en même temps que s'y préparait la poudre sans fumée. La nitroglycérine s'obtient en traitant la glycérine par un mélange d'acides nitrique et sulfurique : c'est un liquide lourd, incolore, toxique, très explosif à la percussion, très sensible. On n'en put rien faire pratiquement, toutefois, avant le moment où le Suédois Nobel, en 1863, trouvait un moyen industriel simple de la fabriquer, et parvint à la faire détoner. Il l'utilisa dans les travaux de mine après l'avoir brevetée sous le nom d'huile explosive. Mais les usines de fabrication sautèrent les unes après les autres. Il ne réussit à sauver l'huile explosive qu'en la faisant absorber par des matières poreuses, brique pilée, terre à infusoires, etc. Ainsi naquit la dynamite, explosif puissant, maniable, et moins sensible que la nitroglycérine.

Un kilo de nitroglycérine développe 1.135 litres de gaz (acide carbonique, oxygène, azote), et une quantité de chaleur considérable qui porte presque au décuple le volume des gaz produits. Ainsi un volume de nitroglycérine donnerait 1.298 volumes de gaz portés à 10.384 volumes par la température accompagnant l'explosion. Entre deux corps durs qui se heurtent violemment, la nitroglycérine détone. Elle explose aussi à 152° C. Enflammée à la

température ordinaire, elle déflagre simplement en dégageant des gaz particulièrement nuisibles : d'où le danger des ratés de détonation dans les mines.

Il existe plusieurs procédés de préparation de la nitroglycérine. Celle-ci, toutefois, n'est jamais utilisée telle quelle : c'est toujours sous forme de dynamite, après addition d'un absorbant (dont il existe diverses sortes : terre siliceuse, tripoli, kaolin, craie, sciure de bois, charbon de bois ou de coke, etc.).

Mais les dynamites sont de deux catégories : dans une première, il y a les dynamites vraies formées de nitroglycérine et d'un absorbant inerte : un de ceux qui viennent d'être cités. Dans la seconde, l'absorbant est non plus inerte, mais actif : c'est un explosif, lui aussi, une nitrocellulose.

La dynamite à absorbant inerte est évidemment plus maniable que la nitroglycérine. Quand même elle n'échappe pas à la loi commune : elle s'altère vite et expose à tous les dangers. Au bout d'un an, elle est bonne à détruire : on ne doit plus la conserver. Elle brûle à l'air libre, lentement, et sous le choc elle explose. On la fait exploser au moyen de l'amorce fulminante. Mais il ne faut pas laisser de dynamite dans le voisinage immédiat : elle éclate, elle aussi, par sympathie, c'est-à-dire sous l'onde de choc.

On ne peut guère employer la dynamite en hiver : elle gèle à + 6° C (et dégèle à + 8° C). Elle sert principalement pour les travaux de destruction, pour briser les roches très dures, pour extraire les minerais, briser les glaces, etc. On fait des dynamites de puissances variées, tout simplement en variant la proportion de la nitroglycérine dans le mélange. La dynamite n° 1 renferme 75 %

de nitroglycérine; la dynamite n° 2, 35 %, et la dynamite n° 3, 25 % seulement. La Fulgurite est faite de nitroglycérine, farine de froment et carbonate de magnésium.

Les dynamites à absorbant actif sont diverses. Il y a les Carbonites allemandes, formées de nitroglycérine, salpêtre et farine de seigle. On peut mettre du charbon à la place du seigle. Mais les plus répandues sont les Dynamites-gommes, Gélatines explosives ou Gélignites, où l'absorbant est du coton-poudre, avec un peu de nitrates de potasse ou de soude, et de la farine de bois. Ce sont des matières gélatineuses, jaunâtres, résistant aux chocs usuels, mais non au choc de la balle. Un kilo de dynamite-gomme équivaut, comme puissance, à 1^{kg}500 de dynamite ordinaire (n° 1). Par l'addition de camphre on a obtenu une « gélatine explosive de guerre » moins sensible au choc, mais exigeant un détonateur très puissant.

Les dynamites-gommes sont de l'invention de Nobel; ce sont des explosifs dont on peut graduer la brisance : aussi ont-elles beaucoup d'emplois. La nitroglycérine entre dans la composition de diverses poudres sans fumée; les dynamites et dynamites-gommes servent d'explosifs industriels dans les mines et carrières, et dans les mines du génie. Mais elles se décomposent vite : il est dangereux de les manipuler ou transporter. Cela est regrettable, les dynamites-gommes pouvant être, par des modifications, amenées à présenter les caractères les plus divers, les adaptant aussi bien à la propulsion qu'à l'explosion brisante.

Les dynamites sont employées dans beaucoup de grenades de fortune, jetées de tranchée à tranchée, faites avec des boîtes de conserves remplies de

cailloux, clous et balles entourant un pétard de dynamite et ficelées solidement, et aussi dans les « saucisses explosives » : on ne peut les utiliser à charger les projectiles creux, en raison de leur sensibilité au choc qui les ferait exploser dans le canon.

Le nombre des dynamites à base active est considérable. On peut les diviser en catégories :

Dynamites à base de *nitrates :* dynamite grise de Nobel (1867), mélange de nitroglycérine et de poudre de mine; dynamites Judson, mélange de nitroglycérine, nitrate de sodium, soufre, charbon; la Paléine, faite de nitroglycérine, paille nitratée, salpêtre, soufre, fécule; le Lithofracteur, dans le même genre; la dynamite à l'amidon faite de nitroglycérine et d'amidon; le Fulmison, où le son remplace l'amidon;

Dynamites à base de *chlorates :* mélanges de nitroglycérine et de chlorate et nitrate de potassium : produits dangereux par leur sensibilité (Nitrolkrut, Nisebastine, Gotham);

Dynamites à base de *pyroxyles :* ce sont les dynamites-gommes dont il a été parlé : mélange de nitroglycérine avec du fulmicoton, de la dinitrocellulose (gélatine explosive de Nobel, 1875); il y en a beaucoup : gélatines et dynamites à l'ammoniaque (nitrate d'ammonium, dinitrocellulose associés à la nitroglycérine); la Forcite, les Gélignites, faites de dinitrocellulose, nitroglycérine, nitrate de potassium et poudre de bois, etc., etc. Molina et Montpellier, dans *Les Explosifs et leur Fabrication,* donnent la composition de beaucoup de produits de ce genre (1);

---

(1) Pour détails, voir aussi les dictionnaires de Cundill et de Daniel, et l'ouvrage de P. Chalon.

Dynamites sans flamme, dites *grisoutites :* dynamites additionnées de carbonate ou sulfate de magnésium retenant de l'eau qui, en se libérant, absorbe une partie de la chaleur de l'explosion et diminue la température en supprimant la flamme.

PICRATES ET MÉLINITE, TRINITROTOLUOL

En 1871, H. Sprengel, membre de la Société Royale de Londres, avait vu que, à l'exemple de beaucoup d'autres corps, l'acide picrique détone sous le choc. Cet acide, découvert en 1788 par le chimiste allemand Haussmann, était utilisé comme matière tinctoriale; l'italien Borlinetto, pourtant, en 1867, avait proposé de l'utiliser comme explosif sous la formule : acide picrique, 10, nitrate de sodium, 10, et bichromate de potassium, 8,5. L'idée resta dans la tombe générale de l'oubli, et l'observation de Sprengel ne comporta aucune application pratique jusqu'au moment où, en 1885, Turpin déclara l'acide picrique excellent comme explosif d'obus. Seulement ce qu'il proposait était non l'acide du commerce en paillettes, très sensible au choc, mais l'acide picrique en bloc fondu, qui ne craint rien des coups et n'explose par le fulminate qu'à condition d'interposer entre le détonateur et lui de l'acide picrique pulvérulent.

L'acide picrique est très stable, loin des métaux. Mais au contact de ceux-ci, du plomb surtout, il forme des picrates détonant par la chaleur. Aussi revêt-on d'un enduit isolant les vases destinés à le recevoir. Et il faut n'employer que de l'acide bien

pur, sans trace de picrates. La formule de la décomposition explosive paraît être la suivante :

$$2 [C^6 H^2 Az O^2]^3 OH = 11 CO + CO^2 + H^2 O + 4 H + 6 Az$$

Les gaz sont principalement de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène (70 °/₀) avec de l'azote, de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau.

A l'air libre, il brûle et ne détone que rarement au feu. Il est plus brisant que la dynamite, et est employé au chargement de nos obus où il pénètre quotidiennement sous le nom de mélinite. Toutefois, peu de personnes connaissent la composition exacte de celle-ci et ceux qui la savent ne la disent pas. Elle a varié... La Lyddite anglaise est une variété de mélinite. S'en rapprochent encore : la Pertite, la Shimosite japonaise, la Coronite, la Picrinite. Les picrates sont encore plus explosants que l'acide picrique. Mais ils sont beaucoup trop sensibles, presque autant que le fulminate ; il faut donc être prudent dans leur manipulation. On associe parfois 5 ou 10 de trinitrotoluol à l'acide picrique (95 ou 90) pour le rendre plus fusible et plus dense.

On prépare la mélinite en partant de l'acide phénique fourni par la distillation de la houille, que l'on traite par les acides sulfurique et nitrique. L'acide picrique obtenu est transformé en picrate alcalin, lavé, dissous, traité par l'acide sulfurique. Il reste de l'acide pur et du bisulfate alcalin. A défaut d'acide phénique de houille, on utilise le phénol de synthèse, obtenu à partir de la benzine.

Quelques picrates sont, ou ont été, plus ou moins utilisés : le picrate de plomb, comme succédané du fulminate de mercure, dans la fabrication

des amorces; le picrate de potassium, qui, associé à du salpêtre et au charbon, constitue les poudres de Désignolle, de trois types : un pour charger les fusils, un pour charger les canons, un troisième pour les obus et torpilles. Ces poudres, toutefois, sont dangereuses : on les a abandonnées, ayant trouvé beaucoup mieux. Le picrate d'ammonium associé au nitrate de potassium constitue la poudre Brugère, pour obus; la Maïzite italienne, la Crémonite, la Bronolite sont aussi à base de picrates, avec nitrates.

L'acide picrique est un trinitrophénol (Laurent, 1843); on peut placer à côté de lui la Crésylite qui est un trinitrocrésol. Cristallisant en aiguilles jaunes, il est employé à l'état fondu, comme l'acide picrique pour charger les obus. Mais l'acide picrique (mélinite) est plus puissant. Produits de décomposition : azote, acide carbonique, vapeur d'eau. Le trinitrocrésol forme quelques sels employés avec le nitrate d'ammonium ou le chlorate de potassium. L'Écrasite autrichienne est du trinitrocrésylate d'ammonium, auquel on a renoncé, à cause de ses dangers.

Un autre corps voisin, le trinitrotoluène, ou trinitrotoluol, sert comme les précédents au chargement des projectiles creux. Il porte des noms variés : tritol, trilite, tolite, tritolo, trotyl; les Anglais le désignent par l'abréviation T. N. T. Ces derniers l'utilisent depuis longtemps aux usages miniers. Les Allemands l'emploient dans leurs bombes d'aéroplane, et dans leurs obus, comme nous. Ce corps dérive du toluène, homologue supérieur de la benzine, qu'on extrait du goudron de houille ou encore des pétroles de Bornéo : c'est un dérivé trinitré fortement explosif. Il ne fait pas avec

les métaux des composés dangereux, comme l'acide picrique. Mowbray, un Américain, paraît avoir été le premier à en voir la valeur ; il a breveté la formule : nitroglycérine 70, nitrotoluol 30. Les gaz de l'explosion sont de l'oxyde de carbone, de l'hydrogène, de l'azote, de l'acide carbonique. La Macarite belge est un mélange de trinitrotoluol et de nitrate de plomb. La Lyddite a une vitesse de détonation supérieure (7.745 mètres au lieu de 7.140 à la seconde) ; elle écrase davantage, et pourtant la faveur du trinitrotoluol est grande : il est préféré à la Mélinite (ou Lyddite) en Russie, en Italie, en Allemagne. Cela tient à ce qu'il est moins sensible au choc, moins toxique comme vapeurs et fumée, moins disposé à se combiner. Pourtant, le trinitrotoluol a déjà un rival dangereux dans le tetryl, ou tetranitraniline.

Mélinite, trinitrotoluol sont de grands explosifs brisants quotidiennement employés dans les projectiles creux. Ils donnent de la fumée, la quantité d'oxygène ne suffisant pas à brûler tout le carbone. De là les noms de *Coal Box,* de *Black Maria,* donnés par les Anglais aux obus du 210 allemand, en particulier du « Petit Bourdon ». On pourrait d'ailleurs empêcher la fumée en ajoutant un corps riche en oxygène.

Il y a beaucoup d'autres explosifs, on les compte par milliers. Toutes les substances organiques facilement nitrifiables, tous les dérivés de la distillation du goudron de gaz, peuvent en fournir. Les énumérer serait fastidieux : il suffit d'avoir parlé de celles qui sont actuellement préférées et utilisées. Notons d'ailleurs que chacune de celles-ci n'est, pour ainsi dire, qu'un membre d'une série étendue, d'une famille considérable. Mélinite, dynamite,

poudre sans fumée, ont des centaines de sœurs ou d'homologues.

Il reste toutefois une famille d'explosifs à citer, découverte par notre compatriote le commandant Arthur Favier, officier du génie, et qui se rattachent à l'idée des explosifs Sprengel. En 1871, Herman Sprengel proposait un type d'explosifs composés d'acide nitrique et d'hydrocarbures, nitrés ou non : le mélange se faisant au moment de l'utiliser. Exemples :

1 équivalent	mononitrobenzine	et	5 acide nitrique (Hellhoffite).
5 équivalents	acide picrique	et	13 acide nitrique (Oxonite).
87 —	nitronaphtaline	et	413 acide nitrique.

Les explosifs du type Sprengel sont des explosifs parfaits en ce qu'ils utilisent tout : il ne reste ni résidu ni gaz inutilisé (comme en laissent la nitroglycérine et le coton-poudre par exemple). Ainsi considérons la première formule, et prenons le nombre d'équivalents indiqué. Nous avons (1) :

Nitrobenzine $= C^6 H^5 (Az\ O^2) = 28{,}08$
Acide nitrique $= 5\ (H\ Az\ O^5) = 71{,}92$

Composition avant explosion	Composition des gaz après explosion
C = 16,44	CO^2 = 60,27
H = 2,28	HO^2 = 22,55
Az = 19,18	Az = 19,18
O = 62,10	

Dans ces mélanges il y a un combustible, la

(1) D'après P. Chalon, *Les Explosifs modernes*, p. 38 (Ch. Béranger, 1911).

nitrobenzine ou quelque autre hydrocarbure, nitré ou non, et un comburant, peroxyde d'azote ou acide nitrique. Le résidu est réduit au minimum. Comme on peut, en variant les proportions de l'hydrocarbure, obtenir ou bien plus de gaz et moins de chaleur, ou moins de gaz et plus de chaleur, on peut graduer l'explosif selon le but à atteindre. Comme exemple d'explosifs Sprengel on connaît divers mélanges où, à l'acide nitrique, comburant, sont associés, comme combustibles, la nitroglycérine ou l'acide picrique, la dinitrobenzine, la nitronaphtaline, en proportions indiquées par leur composition chimique. Ainsi l'Oxonite est faite d'acides nitrique et picrique, séparés. Quand on veut faire jouer la mine on brise le tube contenant l'acide nitrique, et celui-ci baigne l'acide picrique : on fait détoner l'amorce à ce même moment.

A la même idée se rattache la Fulgurite de Raoul Pictet, composée de protoxyde d'azote et d'alcool ou d'éther : on fait exploser électriquement. Ce serait un explosif très puissant, donnant trois fois plus de gaz que les dynamites.

Les explosifs Favier sont de la même famille. A l'origine (1885), ils étaient composés de nitrate d'ammonium (91,5) et de mononitronaphtaline (8,5). Maintenant ils sont de types divers : au nitrate d'ammonium on ajoute diverses naphtalines, de la nitroglycérine, du fulmicoton. L'Ammonite, utilisée en Angleterre, comprend 89 de nitrate et 11 de dinitronaphtaline. L'Ammonal, très employé pour charger les obus autrichiens, est de plusieurs types; y entrent : nitrates d'ammonium et de potassium, charbon, huile, aluminium en poudre, nitrate de baryum. La Densité comprend : nitrates d'ammonium et de strontium, et trinitrotoluol; la Robu-

rite: nitrate, dinitrobenzine, sulfate d'ammonium, permanganate de potassium.

L'introduction de l'aluminium dans l'Ammonal peut étonner, car rien dans le monde des métaux ne paraît aussi insignifiant que ce corps léger, d'apparence si neutre. Cela prouve qu'on juge sur les apparences. La vérité est qu'une énergie prodigieuse sommeille dans l'aluminium métallique. Et s'il reste si innocent, si inoffensif, cela tient à ce qu'à l'air il se recouvre d'une pellicule d'oxyde très mince, transparente, invisible, mais très résistante, qui se reforme aussitôt que détruite par un choc ou grattage, et qui s'oppose au contact avec l'air ou l'eau, et met un obstacle à toutes les velléités d'activité que pourrait avoir ce métal. Cette pellicule le rend passif. Mais détruisez-la au moyen d'une solution de chlorure mercurique, et aussitôt l'aluminium de faire des siennes et de se montrer très actif, décomposant l'eau avec tumulte et grand dégagement de chaleur, prenant feu aussi à l'air humide, spontanément. C'est donc un combustible exceptionnel.

Ajouté, en poudre fine, au nitrate d'ammonium, il forme un explosif très brisant, et contribue à donner à l'Ammonal les propriétés que l'on sait.

C'est encore parce que l'aluminium est un excellent combustible que nous le trouvons dans les bombes incendiaires allemandes. Ces bombes, coniques, en forme de cloche, ayant 25 centimètres de diamètre environ, à leur base, sont cordées sur tout leur pourtour; le sommet est pourvu d'une poignée. La base est en forme de soucoupe portant au centre un cône à parois perforées çà et là, en métal; le cône est rempli d'un mélange d'aluminium et d'oxyde de fer ou de calcium qui a reçu

le nom de Thermite. Cette Thermite prend feu au moment où la bombe est libérée. Autour du cône est une masse de matière résineuse qui est retenue en place par la corde formant la paroi extérieure de l'engin. Cette corde, très inflammable, est allumée au départ : elle sert à mettre le feu à la résine qui est placée là pour donner de la fumée et mettre le feu. Il y a généralement un peu de phosphore blanc, de celluloïd et de pétrole ajouté au tout. Quand la bombe tombe à terre le choc tend à éparpiller la Thermite enflammée et qui dégage une chaleur pouvant atteindre 5.000°. Le tout est incendiaire et asphyxiant, incendiaire par la résine, la Thermite, le celluloïd et le pétrole, asphyxiant par le phosphore. Très recommandé pour incendier des demeures renfermant des femmes, enfants, blessés et non-combattants en général.

Se rattache encore aux explosifs Favier la Schneiderite. C'était un explosif de mine qu'on préférait à la dynamite parce que moins dangereux dans les mines grisouteuses à cause de sa température de combustion moins élevée. Il fit ses premières armes dans l'artillerie lors de la guerre des Balkans. C'est un mélange de binitronaphtaline (12,6 °/₀) et de nitrate d'ammoniaque. La naphtaline est fournie par les usines à gaz, naturellement, le nitrate d'ammoniaque par la double décomposition du sulfate d'ammoniaque et du sulfate de chaux. Les deux substances, mélangées, sont broyées en une galette, qui, séchée, est concassée en poudre ou en grains. La Schneiderite, seule, ou accompagnée d'autre chose, de Tolite en particulier, sert à remplir nos obus. Elle ne coûte pas cher, et c'est là chose à considérer.

La Panclastite de Turpin est aussi un mélange

de comburant et de combustible. En 1881, Turpin a proposé de mélanger, au moment de l'emploi, le peroxyde d'azote liquide, comburant, avec un combustible quelconque : pétrole, nitrotoluène, sulfure de carbone, nitrobenzine. Ainsi on peut mélanger 1,0 sulfure de carbone avec 1,8 peroxyde d'azote. La formule de réaction est

$$CS^2 + 3\,Az\,O^2 = CO^2 + 2\,SO^2 + 3\,Az$$

les gaz dégagés étant l'acide carbonique, l'acide sulfureux et l'azote. La nitrobenzine donnerait une explosion bien plus violente. Le mélange a été essayé en Allemagne, pour charger les obus. En France aussi, sans doute... Mais la manipulation du peroxyde est délicate : la Panclastite semble peu pratique..

EXPLOSIFS A OXYGÈNE LIQUIDE

On a parlé, parfois, dans la presse, de l'air liquide, employé comme explosif. Il est certain que l'oxygène liquide, mêlé à des substances très combustibles, à du charbon très divisé, à du noir de fumée, à de l'aluminium peut-être, doit donner des explosifs très puissants. Ce sont, peut-être, de tous les explosifs connus, dit M. Le Chatelier, ceux qui ont la plus haute température de combustion. Mais il est difficile de conserver l'oxygène liquide.

Avant la guerre, le ministère de la Guerre avait demandé à MM. d'Arsonval et Georges Claude si l'on pourrait, avec l'oxygène liquide, constituer des explosifs de mine ne produisant aucun gaz nocif. C'était beaucoup demander... surtout aux

explosifs à oxygène liquide déjà essayés : au Simplon on s'était plaint de la quantité d'oxyde de carbone qu'ils dégagent. Le mélange oxygène-aluminium a donné de bons résultats : le résidu est de l'alumine, qui n'a rien de toxique. Comme à la guerre on ne se préoccupe pas de savoir si les obus qu'on envoie dégagent ou non des gaz toxiques, on reprit à cette occasion les expériences sur le mélange charbon-oxygène liquide, et celui-ci se montra aussi puissant que la dynamite. Résultat des plus intéressants : charbon et oxygène liquide ne coûtent presque rien, grâce à la houille blanche. Ceci se passait avant la guerre. Depuis... depuis, on a travaillé, certainement. Mais il est superflu de dire à quoi on est arrivé, pour le présent.

L'EXPLOSIF IDÉAL

Quels seraient les caractères de l'explosif idéal ? Évidemment, celui-ci devrait avoir une très forte densité et comporter deux corps au moins, en proportions voulues, dans l'un desquels, le comburant, l'autre, le combustible, serait exactement brûlé. La grande densité importe, pour obtenir le maximum d'explosion par rapport au volume : l'état solide serait donc désirable. On a par exemple des explosifs qui, du volume 1 à l'état solide, passent au volume 400 par décomposition en gaz, ledit volume 400 passant à 1.200 par la dilatation due à la chaleur. On doit avoir mieux. En 1870, Turpin, comme nous l'avons déjà dit, avait proposé un explosif, la panclastite, formé de deux liquides, l'un comburant (peroxyde d'azote ou acide nitrique fumant), l'autre combustible (sulfure de carbone

ou pétrole). Bien entendu, le mélange ne devait se faire qu'au moment où l'explosion était désirable : là était la difficulté.

En Allemagne, une tentative similaire a été faite avec l'Hellofitte, déjà citée elle aussi, où l'acide nitrique fumant et la nitrobenzine font office de comburant et combustible. Il ne semble pas qu'on soit arrivé à grand'chose dans cet ordre d'idées, ni que les expériences aient été poursuivies.

Plus récemment, en 1897, on a proposé un mélange d'acétylène et de protoxyde d'azote, qui serait plus puissant que la nitroglycérine, mais pas à volume égal (et le volume a son importance : volume, c'est-à-dire densité). Théoriquement, l'explosif le plus puissant est le gaz détonant, mélange d'oxygène et d'hydrogène. Mais la densité est trop faible : les deux corps sont à l'état gazeux ; c'est pourquoi M. D. Dubois proposa la variante qui vient d'être indiquée. En Allemagne, un brevet a été pris en 1902 pour un explosif formé de cartouches divisées en deux compartiments, contenant l'un du carbure de calcium avec peroxyde de baryum, l'autre un acide dilué. Cet acide, rongeant le diaphragme séparant les compartiments, provoque un dégagement d'acétylène, d'hydrogène et d'oxygène, lesquels se combinent avec explosion. Le procédé est-il pratique? Ceux qui savent ne disent rien, en tout cas. C'est plus tard seulement qu'on saura si la grande guerre a été l'occasion de la découverte d'explosifs nouveaux.

Nous avons cité le gaz détonant, mélange d'oxygène comburant et d'hydrogène combustible : bon explosif d'ailleurs, mais pas pratique ; il tient trop de place. L'explosif idéal a le maximum de densité : il est très lourd ; il a beaucoup de poids pour

son volume. Les gaz ont un minimum de poids et un maximum de volume au contraire. Il existe d'autres mélanges gazeux tonnants : éthylène 1 et oxygène 3 ; acétylène 1 et air 9 ; gaz d'éclairage 1 et air 5 ; formène ou méthane 1 et air 9,5 (c'est le grisou) ; protoxyde d'azote et hydrogène, etc. Certains de ces mélanges développent des pressions de 10,15 et près de 20 atmosphères (cyanogène et oxygène, 19,5 atmosphères d'après M. Vieille). Inutile d'insister sur ces explosifs : ce sont seulement des curiosités intéressantes, pour le moment ; on n'en peut rien faire dans la pratique.

Un mot en terminant cet historique. Par les noms qu'il a fallu citer au cours de celui-ci on a pu voir quelle place tient la France dans la science des explosifs. C'est un exemple entre bien d'autres. Les Allemands répètent volontiers que rien n'est au-dessus de la science allemande. La vérité est qu'on ne doit à celle-ci qu'un minimum d'initiatives et d'idées générales. Les Français en ont au contraire répandu à foison. Mais ils ne les suivent pas assez jusque dans leurs conséquences. Les Allemands au contraire sont bons pour prendre les idées des autres, les suivre, et les exploiter et utiliser. Ils font de bons ouvriers, des contremaîtres appliqués. Mais des chefs, au sens intellectuel du mot, combien rarement. Toute l'histoire générale de la science est là qui le proclame, et la « science des explosifs », comme toutes les autres sciences, le confirme amplement. Il serait injuste de méconnaître la très grande part de l'Angleterre, et n'oublions pas que la nitroglycérine est d'un Italien.

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — JUIN 1916

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

1e Série e

J. HUTTER

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE

LES

SOUS-MARINS

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE
LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
UTILISATION DES SOUS-MARINS — LES MOTEURS DES SOUS-MARINS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS
LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS
LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS

TROISIÈME MILLE

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY — RUE DES GLACIS, 18

130

*Prix : **90 centimes.***



LES SOUS-MARINS

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5) ;

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

J. HUTTER

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA MARINE

3

LES SOUS-MARINS

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE
LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES
UTILISATION DES SOUS-MARINS — LES MOTEURS DES SOUS-MARINS
EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS
LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS
LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
RUE DES GLACIS, 18

1917

LES SOUS-MARINS

CHAPITRE I

HISTORIQUE DE LA NAVIGATION SOUS-MARINE

Par une tendance très naturelle de l'esprit, on a souvent rapproché, ces derniers temps, la navigation sous-marine de l'aviation : l'une et l'autre, en effet, ont permis à l'homme d'explorer des domaines qui lui ont été interdits complètement pendant des siècles et qui semblaient devoir être éternellement réservés, l'un aux poissons et l'autre à la gent ailée. Les progrès de la science, et plus particulièrement de l'industrie, qui n'est que de la science appliquée, ont bouleversé ces prévisions, et ce qui était considéré, depuis la malheureuse tentative d'Icare, comme l'exemple le plus caractérisé de l'utopie, est devenu en ces dernières années une réalité, souvent même une cruelle réalité.

Ce rapprochement entre l'aviation et la navigation sous-marine n'est pas, en effet, uniquement artificiel. Entre l'avion et le dirigeable d'une part, et le sous-marin d'autre part, il y a plus que l'ana-

logie superficielle entre deux véhicules qui tous deux se meuvent au milieu d'un fluide et ont la précieuse faculté de pouvoir se déplacer suivant trois dimensions, alors que tous les autres engins mobiles ont leurs mouvements limités à deux dimensions et sont inéluctablement astreints à rester soit à la surface du sol, soit à la surface de la mer.

Si l'on étudie de plus près la théorie de ces appareils, si l'on examine leurs conditions de sustentation, de direction, de stabilité, on est frappé de la similitude des moyens et des organes employés. Il y a un parallélisme étroit entre les ballasts des sous-marins et le lest des ballons, les gouvernails de plongée des premiers et les ailerons et plans stabilisateurs des seconds. Les dénominations mêmes des organes accusent cette parenté étroite ; sous-marins et avions ont des gouvernails de profondeur ou équilibreurs qui sont utilisés de la même façon. Si l'on va plus loin enfin et si l'on cherche à traduire numériquement les conditions de fonctionnement des avions et des bâtiments sous-aquatiques, ce n'est pas sans étonnement que l'on constate l'identité presque absolue des équations qui régissent le mouvement de ces engins.

Accessoirement même, il n'est pas sans intérêt de rappeler que, si le premier aéroplane qui ait volé est dû aux travaux et aux expériences de deux Américains, Wilbur et Orville Wright en 1908, le premier sous-marin qui ait évolué entre deux eaux nous venait d'Amérique et avait été conçu et exécuté par le génial Fulton. C'est tout au moins une coïncidence assez curieuse en elle-même.

Il y a toutefois entre ces deux sortes de navigation, l'aérienne et la sous-marine, une différence

importante que l'on oublie trop facilement : c'est que la seconde est antérieure à la première de plus d'un siècle.

Le sous-marin de Fulton auquel nous avons fait allusion doit en effet être considéré comme le précurseur direct des engins beaucoup plus perfectionnés avec lesquels les Allemands prétendent affamer l'Angleterre par la suppression totale du commerce maritime.

Il le mérite au même titre que l'avion d'Ader et que les autres machines volantes plus récentes peuvent prétendre avoir frayé la voie aux avions de chasse ou de bombardement sortis les derniers de nos ateliers de construction.

Ce sous-marin de Fulton est intéressant, à la fois, parce qu'il a résolu, le premier, un problème réputé jusqu'alors insoluble, et aussi parce qu'on y retrouve, en quelque sorte à l'état de germe, la plupart des organes qui constituent actuellement le sous-marin moderne du type le plus perfectionné.

Comme la construction métallique n'était pas encore en usage à l'époque où Fulton réalisa son sous-marin, sa coque était en bois, formée de bordages soigneusement assemblés et calfatés pour assurer l'étanchéité et résister à la pression de l'eau en plongée. Il avait la forme d'une barque entièrement pontée et dont l'écoutille unique, analogue aux capots des sous-marins modernes, était fermée au moment de la plongée par un panneau exactement ajusté à l'ouverture. En immersion l'engin était mû à bras d'homme, au moyen de sortes de rames qui servaient à la fois à la propulsion et à la direction du navire. Ces rames jouaient donc le rôle de l'hélice actuelle et en même temps celui des gouvernails de plongée et de direction. Pour

immerger le bateau, on l'alourdissait en remplissant d'eau des barils placés à l'intérieur de la coque, tout comme maintenant on remplit d'eau les water-ballasts. Revenu en surface, l'équipage hissait un petit mât qui, rapidement gréé d'une voilure simplifiée, permettait de faire route sans avoir à se fatiguer. Ce point est particulièrement à retenir, car on retrouve dès l'origine le principe si fructueux du submersible ou sous-marin autonome: l'emploi de deux moteurs différents pour la marche en surface et en plongée.

En *surface*, le moteur économique, qui permet les longs parcours, et à cet égard le sous-marin de Fulton l'emportait sur nos submersibles les plus récents, puisque la force du vent, qui ne coûte rien, ne dépense aucun combustible, est encore plus économique que les meilleurs moteurs à pétrole.

En *immersion*, un moteur beaucoup plus lourd et moins économique, mais suffisant néanmoins si l'on n'envisage que des plongées de durée assez courte ; ce sont précisément les caractéristiques des moteurs électriques actuels alimentés par des accumulateurs au plomb, et également celles du moteur humain auquel avait eu recours Fulton.

Ce qui paraît à peu près certain, c'est que cet ancêtre quasi préhistorique du submersible créé en 1896 par Laubeuf, fit en rade de Brest des expériences concluantes. Après avoir appareillé à la voile, il rentra sa mâture, s'immergea complètement, disparut sous les eaux et resta un certain temps, évoluant avec assez de précision pour pouvoir porter une charge de poudre contre la coque d'un bâtiment de surface mouillé dans le voisinage. Il faut avouer, si les rapports de l'époque sont dignes de foi, que ce n'est pas si mal

pour un débutant. Sans doute, pour qu'un pareil engin acquît toute la valeur militaire qu'il possède aujourd'hui, il était nécessaire que le moteur électrique, les accumulateurs, le périscope, la torpille automobile fussent inventés. Mais, au point de vue de la navigation sous-marine proprement dite, il faut reconnaître que Fulton avait su résoudre, du premier coup, toute une série de problèmes qui se sont posés plus tard à ses successeurs, et cela d'une manière très satisfaisante. Il semble même que ces solutions heureuses, trouvées il y a plus d'un siècle, ont été vite oubliées, puisqu'il a fallu cent ans plus tard réinventer, au prix de patientes recherches et de longs tâtonnements, tout ce que Fulton avait découvert.

C'est, sans doute, à ce fait que les premières tentatives de navigation sous-marine de Fulton ont passé à peu près complètement inaperçues, qu'il faut attribuer le peu d'intérêt que présentent les tentatives analogues que l'on trouve, isolées, dans les trois premiers quarts du dix-neuvième siècle. On rencontre des appareils bizarres, des conceptions d'esprits biscornus, rarement suivies de réalisation, qui aboutissent à des échecs, et la question ne fait aucun progrès. Un pas en avant a été fait cependant par deux Français, l'amiral Bourgois et l'ingénieur Charles Brun. C'est pour rappeler les efforts de ces deux travailleurs et leur esprit d'initiative que leur nom a été donné à deux des unités les plus récentes de notre flotte sous-marine ; tardif hommage à des patriotes méritants auxquels le succès immédiat a manqué, non par leur faute, mais parce qu'ils étaient venus trop tôt, à une époque où le moteur convenable de plongée n'existait pas encore.

Le sous-marin conçu d'après les idées de l'amiral Bourgois, et dont les plans ont été établis par l'ingénieur de la Marine Charles Brun, a été construit à Rochefort. Il a reçu le nom de *Plongeur*. Sa coque était si solidement rivée qu'elle existe encore, et on l'utilise aujourd'hui comme bateau-citerne, après avoir débarqué ses machines. Le *Plongeur*, le premier en date des sous-marins français, méritait une fin plus honorable ; et lorsqu'on voit dans les collections du South Kensington Museum, à Londres, avec quel soin pieux, quelle vénération attentive, les Anglais conservent la fameuse *Fusée* de Stephenson, on ne peut que regretter qu'un conservatoire des Arts et Métiers, en France, n'ait pas recueilli l'épave tout aussi vénérable du *Plongeur*.

Malheureusement, les navires ne vont pas sur terre, et surtout ils sont beaucoup plus encombrants que les locomotives. Charles Brun doit donc se consoler de ne pas voir son *Plongeur* voisiner avec le chariot à vapeur de Cugnot, et en devisant dans les Champs Élysées, parmi les prairies d'asphodèles, avec son collègue Fulton, s'il a appris que la marine, utilitaire, a transformé son sous-marin en une vulgaire citerne flottante, il doit se dire qu'après tout il n'y a pas de sot métier, et que même réduit à cet emploi inférieur de bâtiment de servitude, le *Plongeur* n'est pas tout à fait inutile, qu'il sert encore la patrie à l'heure du danger, dans la mesure où le lui permet son âge avancé.

Le trait caractéristique du *Plongeur*, en même temps que la cause de son échec, était l'emploi de l'air comprimé comme moteur de propulsion. L'idée avait du bon, puisque c'est celle qui a

permis, quelques années plus tard, à l'Anglais Whitehead de réaliser l'un des plus merveilleux et des plus terribles engins de la guerre moderne, la torpille automobile. Seulement, la torpille automobile est de petites dimensions et, de plus, les parcours qu'on lui demande ne dépassent guère quelques milliers de mètres ; le problème était donc relativement facile et, les événements l'ont amplement prouvé par la suite, le moteur à air comprimé constituait la solution la plus complète de ce problème limité. Il en était tout autrement pour le sous-marin, avec ses dimensions considérables, et surtout avec l'obligation de pouvoir franchir en plongée, non plus quelques centaines de mètres, mais des centaines de milles marins. Le moteur à air comprimé est très lourd, surtout à cause du poids énorme des réservoirs d'acier dans lesquels on doit accumuler la provision d'air comprimé qui l'alimente. Sur une torpille, la quantité d'air nécessaire pour un parcours dont la durée est de l'ordre d'une à deux minutes peut se loger dans une capacité de dimensions modérées ; encore est-il nécessaire, pour que ce réservoir ne soit pas trop lourd, de le confectionner avec les aciers les plus résistants que nous procure la métallurgie, et de faire travailler ce métal très près de la limite de sa résistance. Sur le *Plongeur*, le nombre de ces réservoirs était considérable ; ils occupaient la majeure partie du volume de la coque intérieure, et, malgré cela, l'approvisionnement d'air ne donnait au bâtiment qu'un rayon d'action assez faible, avec une vitesse minime. Il faut tenir compte, en effet, de ce que les moteurs à air comprimé ont fait, depuis l'époque où le *Plongeur* a été construit, des progrès notables qui ont beaucoup amélioré leur

rendement ; en particulier l'emploi du réchauffage préalable de cet air, tel qu'il se pratique sur les torpilles et sur les tramways, a diminué sensiblement leur consommation, a permis, en d'autres termes, de retirer d'un même volume d'air, à une même pression, un nombre beaucoup plus grand de chevaux-vapeur.

Mais le défaut le plus grave du *Plongeur* était son échappement. Après avoir travaillé dans les cylindres du moteur, l'air détendu se rendait dans un tuyau de large section qui l'évacuait au dehors. Malgré toutes les précautions prises pour diviser les bulles d'air, les mélanger aussi intimement que possible avec la masse liquide, cet échappement d'air produisait malgré tout un bouillonnement, un sillage très visible qui trahissait immédiatement la présence du sous-marin. Le même phénomène se produit d'ailleurs avec la torpille automobile ; on suit parfaitement, et même à grande distance, à l'œil nu, la marche d'une torpille par son sillage ; c'est même un moyen simple de vérifier la rectitude de sa trajectoire ; mais la vitesse de la torpille, 25 mètres par seconde, est telle qu'il n'y a pas grand inconvénient à ce qu'elle se laisse voir ; quand un navire l'a aperçue, il est généralement trop tard pour qu'il puisse l'éviter ; et les cas où un bâtiment a pu, par un coup de barre donné au bon moment, éviter l'engin meurtrier, sont excessivement rares. Toutes proportions gardées, avec la faible vitesse des bâtiments, et surtout la lenteur avec laquelle ils peuvent modifier la route suivie par leur énorme masse, il leur est pratiquement aussi difficile d'éviter une torpille qu'à un piéton de se garer d'une automobile de course ou d'un obus. Visible ou invisible, la torpille automobile

conserve donc toute son efficacité. Il en va tout autrement pour le sous-marin, qui marche à allure lente, et la plupart du temps à une vitesse sensiblement inférieure à celle du bâtiment qu'il attaque. C'est seulement dans les ouvrages d'imagination comme *Vingt mille lieues sous les mers,* de Jules Verne, que l'on voit un *Nautilus* foncer sur sa proie, avec la rapidité de l'éclair, et transpercer de son éperon la coque du navire ennemi. Dans la réalité les choses se passent d'une manière beaucoup moins dramatique. Non seulement les sous-marins réels ne disposent que d'une vitesse modérée, et qui ne dépasse pas 10 à 12 nœuds en plongée; mais encore ils ne font jamais usage de cette vitesse maxima pour l'attaque; ils ne s'en servent que pour la fuite, pour échapper à un danger pressant, en plongeant à une grande profondeur, où les remous de l'hélice demeurent invisibles. Dans l'attaque, la tactique du sous-marin rappelle plutôt celle du chasseur à l'affût : l'essentiel est de ne pas dépister le gibier. Le sous-marin s'avancera donc prudemment, sinon à fleur d'eau, du moins assez près de la surface, pour pouvoir à tout instant faire émerger l'extrémité de son périscope et rectifier sa route ; il s'abstiendra soigneusement de forcer sa vitesse, non pas seulement pour économiser sa réserve d'énergie électrique dont il pourra avoir besoin ensuite pour s'éloigner, mais surtout pour éviter que son périscope, dans les courts moments où il doit émerger, ne soulève une volute, un panache d'écume blanche qui le rendraient visible.

On conçoit, dans ces conditions, que le *Plongeur,* sensiblement plus lent que nos sous-marins modernes, et obligé, en outre, par l'absence de

périscope, de se tenir à fleur d'eau, était incapable de réussir une attaque; les bouillonnements produits par l'échappement de l'air de son moteur auraient signalé de loin sa présence, et le bâtiment ennemi auraït eu tout le temps voulu pour fuir. Sa valeur militaire était donc à peu près nulle. Mais si Charles Brun n'a pas réussi à créer une arme véritable, au point de vue technique ses efforts n'ont pas été perdus. Il a montré la possibilité de faire naviguer entre deux eaux, avec précision, un sous-marin de fort tonnage, et bien des dispositifs de détail du *Plongeur* ont pu être utilisés ultérieurement.

Un de ces dispositifs doit retenir l'attention; c'est celui du canot de sauvetage qui avait été placé à la partie supérieure du *Plongeur,* et solidement encastré dans une cavité pratiquée sur le dos du sous-marin.

Ce canot, en tôle, était naturellement complètement ponté. On pouvait y pénétrer, en plongée, au moyen d'un panneau à double fermeture, percé à la fois dans la coque du sous-marin et dans celle du canot. En cas de sinistre, c'est-à-dire si pour une cause quelconque le *Plongeur* se trouvait au fond de la mer, incapable de remonter à la surface, l'équipage se rendait dans le canot de sauvetage, et après avoir refermé soigneusement le capot d'accès, en desserrant les écrous qui reliaient le canot au sous-marin, on le libérait. Le canot, moins lourd que le volume d'eau qu'il déplaçait, remontait aussitôt, et une fois à la surface, il suffisait d'ouvrir les écoutilles du pont.

C'est, croyons-nous, la première réalisation d'un engin de sauvetage pour le personnel des sous-marins. Et il est intéressant de noter que près d'un

demi-siècle plus tard, lorsque l'accident si retentissant du *Pluviôse,* coulé au large de Calais par la malle de Douvres, vint rappeler la nécessité de pourvoir au sauvetage de nos vaillants marins, plusieurs inventeurs sont venus proposer à la marine française des canots détachables, plus ou moins différents par les formes et par les accessoires, mais tous reposant sur les principes que Charles Brun avait appliqués cinquante ans auparavant : *nil novi sub sole.*

L'insuccès du *Plongeur* était dû à son moteur. Pour qu'un progrès sérieux fût possible en navigation sous-marine, il fallait posséder une source de puissance motrice qui ne consommât pas d'air atmosphérique et qui ne produisît pas de dégagements gazeux, impossibles à évacuer au dehors sans trahir sa présence. Le moteur remplissant ces conditions n'a été découvert que plus tard, lorsque Gramme, par l'invention de son anneau, a fait de la dynamo électrique une machine pratique. En même temps les perfectionnements apportés à la construction des accumulateurs au plomb donnaient enfin un moyen d'accumuler cette énergie électrique, au prix d'un poids encore considérable, mais néanmoins dans des conditions acceptables.

C'est pourquoi les sous-marins n'ont vraiment pris leur essor que beaucoup plus tard, lorsque l'état de la science et de l'industrie eut enfin permis de réaliser un bon moteur de plongée.

Bien que la dynamo électrique alimentée par des accumulateurs soit loin de constituer le moteur rêvé, à cause surtout de son poids et de son encombrement, elle possède cependant plusieurs avantages précieux, qui la rendent très supérieure à tous les autres appareils employés antérieurement,

et lui ont permis de soutenir victorieusement la lutte, jusqu'à ce jour, avec les autres engins nouveaux que les récentes découvertes ont mis à notre disposition.

Nous avons déjà indiqué que l'ensemble, accumulateurs et moteur électrique, fonctionnait, en débitant de la puissance motrice, sans consommer d'air ni produire de dégagements gazeux appréciables; c'est la condition essentielle qui permet au moteur d'être utilisé en plongée. Mais, en outre, alors que la plupart des autres appareils producteurs de force motrice changent de poids pendant leur fonctionnement (charbon brûlé dans une chaudière par exemple), l'accumulateur électrique reste invariable; il ne pèse pas plus quand il est chargé à refus qu'à la fin d'une longue décharge. On est ainsi dispensé d'avoir à faire des mouvements d'eau compliqués dans les ballasts intérieurs du sous-marin, pour compenser les variations de poids du moteur. C'est une grave sujétion de moins. Le moteur électrique fonctionne presque sans dégager de chaleur; la température des accumulateurs varie fort peu pendant la décharge. Ceci est particulièrement important en plongée, puisque l'air du sous-marin ne se renouvelle pas et qu'on n'a pas la ressource, pour éviter une élévation de température intolérable, d'employer une ventilation énergique. Le moteur électrique est très souple; on le met en marche en tournant la manette d'un commutateur ou le volant d'un controller; il part en avant ou en arrière instantanément, on peut faire varier son allure à tout moment, et passer en quelques secondes de la vitesse la plus ralentie à la toute-puissance. Enfin c'est de tous les moteurs connus le plus silencieux: pas de soufflements sonores, de

halètements comme dans les appareils à vapeur, pas de chocs bruyants d'articulations comme dans les machines alternatives; à peine un léger crissement produit par le frottement des balais de la dynamo sur les touches de cuivre du collecteur, et encore ce murmure léger, car ce n'est même pas un bruit, ne s'entend-il que dans le compartiment même du moteur et ne se perçoit absolument pas au dehors.

Cette absence de bruit est précieuse, car elle permet au sous-marin de s'approcher assez près des côtes ennemies, sans que les microphones des postes écouteurs puissent déceler sa présence.

Aussi, dès que l'on fut en possession d'un bon moteur électrique et d'accumulateurs suffisants, les progrès de la navigation sous-marine, jusqu'alors lents et irréguliers, s'accentuèrent, et en peu d'années presque toutes les grandes puissances maritimes réussirent à mettre au point de petits bâtiments doués déjà d'une valeur militaire sérieuse, tout au moins pour la défensive.

De même qu'en photographie, en automobile, en aviation, la France a été l'initiatrice des progrès vraiment féconds, de même, en navigation sous-marine, c'est elle qui a ouvert la route avec le *Gymnote,* bâtiment d'essai, et, quelques années après, avec le *Gustave-Zédé* (1).

Le *Gymnote,* dont les plans ont été établis par un ingénieur des constructions navales éminent, Gustave Zédé, n'était pas une arme de guerre, mais seulement un sous-marin d'expériences, destiné à

(1) Il ne faut pas confondre ce *Gustave-Zédé*, premier du nom, qui fut construit en 1890-1892, avec le grand submersible de 800 tonneaux qui a reçu le même nom et est entré en service en 1914.

élucider et à résoudre les multiples problèmes théoriques et pratiques que pose la navigation sous-marine.

La marine, en ordonnant sa construction, n'a pas voulu renouveler l'erreur du *Plongeur* de Brun ; elle s'est montrée prudente : le *Gymnote* ne déplaçait qu'une trentaine de tonneaux. Il était pourvu uniquement d'un moteur électrique, alimenté par une batterie d'accumulateurs ; il ne possédait pas de moteurs de surface. C'était, suivant l'expression consacrée, un sous-marin purement électrique. Comme les bâtiments antérieurs, il était muni de caisses intérieures ou ballasts que l'on remplissait d'eau pour alourdir le bâtiment et le faire plonger. Une fois immergé, il se dirigeait en profondeur, il réglait son immersion au moyen de plans horizontaux orientables à la main, ou gouvernails de plongée. Les essais très nombreux effectués sur ce petit bâtiment, en variant précisément la disposition de ces gouvernails de plongée, en les plaçant tantôt près de l'avant, tantôt près de l'arrière, tantôt au milieu ; en ajoutant ou en supprimant des plans fixes ou ailerons, analogues aux nageoires des poissons, ont permis de résoudre très complètement tous les problèmes qui constituent la théorie dynamique du sous-marin en plongée. Ces problèmes sont, en effet, d'une nature si complexe, que le calcul seul ne pouvait pas en donner une solution satisfaisante, et seule l'expérience directe pouvait les élucider entièrement. Ces essais du *Gymnote,* couronnés d'un plein succès, ont fourni à la marine française un nombre considérable de données à la fois théoriques et pratiques qu'elle pouvait utiliser désormais avec fruit. Le moment était venu pour nous d'aborder, sans courir les

mêmes risques qu'avec le *Plongeur,* la construction d'un grand sous-marin rapide, pourvu de tubes lance-torpilles, d'un véritable instrument de guerre.

C'est l'ingénieur du Génie maritime Romazzotti, gendre de Gustave Zédé, qui fut chargé de l'établissement des plans et de la construction de notre premier sous-marin de guerre. Le nom de Gustave Zédé, qui venait de mourir, fut donné à ce bâtiment, pour reconnaître les services éminents que cet ingénieur avait rendus à la navigation sous-marine. Le *Gustave-Zédé* avait à peu près la forme d'un cigare très allongé, puisque, pour une longueur totale de 48 mètres, il avait à peine $3^{m}30$ de diamètre et ne déplaçait guère plus de 250 tonneaux. Malgré cette grande longueur, il évoluait parfaitement en profondeur, ainsi que le firent constater ses premiers essais effectués en 1896 et 1897. C'était, comme le *Gymnote,* un sous-marin purement électrique ; mais ses plus grandes dimensions avaient permis de le doter de moteurs électriques beaucoup plus puissants ; aussi sa vitesse était-elle plus considérable que celle du *Gymnote ;* le *Gustave-Zédé* a dépassé en effet 9 nœuds en plongée, ce qui était pour l'époque un résultat superbe, un record si l'on veut, qui ne fut battu que dix ans plus tard environ. Il était armé d'un tube lance-torpille placé à l'extrême avant. Son défaut principal résidait dans l'emploi exclusif du moteur électrique : le *Gustave-Zédé* était vite à bout de sa provision d'électricité, et il fallait qu'il retournât à sa base de ravitaillement, à la station de chargement, pour faire recharger ses accumulateurs. Son rayon d'action se trouvait ainsi limité à peu près à une centaine de milles marins. C'était déjà

très suffisant pour faire de ce sous-marin une arme défensive excellente. On se préoccupa d'ailleurs, à cette époque, des moyens de remédier à cette insuffisance de distance franchissable. Des expériences furent faites, notamment aux îles d'Hyères, dans lesquelles le *Gustave-Zédé* était remorqué en surface par un bâtiment à vapeur jusque dans la zone où il devait opérer ; on arrivait ainsi, par ce procédé indirect, à amener le sous-marin très loin de sa base, sans avoir entamé la réserve d'énergie électrique de ses accumulateurs.

C'est à peu près à la même époque que l'on songea à faire accompagner les sous-marins par un grand bâtiment de surface spécialement aménagé pour les ravitailler, en leur fournissant le courant électrique nécessaire au rechargement des accumulateurs, les remorquer en cas de besoin, les réparer, et même offrir un logement confortable à une partie de l'équipage pendant les croisières les plus longues. Cette conception allait cependant être bientôt abandonnée, parce que la création des sous-marins autonomes, c'est-à-dire capables de se recharger eux-mêmes, et par suite pouvant tenir la mer pendant des semaines sans aucun secours du dehors, avait enlevé tout intérêt à la solution par navire ravitailleur ou mère Gigogne de sous-marins.

Quelles que soient d'ailleurs les insuffisances, maintenant reconnues, du *Gustave-Zédé*, il n'en subsiste pas moins qu'il a été le premier sous-marin militaire, et, à l'époque où il a été terminé, la France possédait, grâce à lui, une supériorité incontestable sur les autres marines.

Les sous-marins qui suivirent en France dérivaient naturellement du *Gustave-Zédé;* le *Morse*, le *Français*, l'*Algérien*, le *Gnome*, le *Farfadet*, le

Lutin, le *Korrigan,* étaient également des bâtiments en forme de cigare très allongé, avec une faible flottabilité, c'est-à-dire s'élevant très peu au-dessus de la surface de la mer en position lège. Les progrès réalisés par la technique furent utilisés surtout pour réduire les dimensions du *Zédé* qui semblaient un peu considérables. Beaucoup d'améliorations de détail furent apportées à ces bâtiments. L'invention du périscope, qui est à peu près de cette époque, eut cependant une importance considérable : cet appareil, qui permettait au sous-marin de voir sans émerger, sans se faire voir, augmentait immédiatement la valeur de l'arme nouvelle.

Mais, en somme, il n'y avait pas dans ces divers sous-marins purement électriques une idée vraiment neuve. C'est à ce moment que l'ingénieur Laubeuf, par la création du submersible, dont le premier modèle fut le fameux *Narval,* révolutionna pour ainsi dire la construction sous-marine.

Lorsque le ministre de la Marine d'alors, M. Lockroy, institua le concours d'où est sorti le *Narval,* l'idée du submersible était pour ainsi dire dans l'air. Les essais des premiers sous-marins purement électriques et à faible flottabilité avaient vite révélé les défauts de ces bâtiments : insuffisance de rayon d'action, qualités nautiques insuffisantes, c'est-à-dire que ces sous-marins tenaient mal la mer en surface. Ils restaient inertes comme des bouées dans la mer agitée et par gros temps ils devenaient intenables ; le commandant ne pouvait même plus ouvrir le capot supérieur de son kiosque et, réduit à la seule vision périscopique, il ne voyait pas grand'chose au milieu des paquets de mer et des embruns.

De ces critiques bien connues, à formuler le programme des qualités que devrait avoir le sous-marin pour être une arme vraiment efficace, il n'y avait qu'un pas. Ce pas fut franchi par l'amiral Baudry Lacantinerie, un officier dont la carrière n'a pas été particulièrement brillante, mais qui, doué d'un sens marin très aigu, a eu, dans une étude consacrée à la navigation sous-marine, comme un éclair de prescience. Dans le travail auquel nous faisons allusion, l'amiral Baudry Lacantinerie pose nettement, en quelques lignes, le problème du submersible.

« Un sous-marin ne sera pas perpétuellement en plongée ; pour se rendre au loin, attaquer les rades ennemies, il devra pouvoir naviguer en surface. » Et l'amiral précise : « Il devra tenir la mer aussi bien que nos torpilleurs et avoir la même distance franchissable. »

C'est à l'ingénieur Laubeuf, avons-nous dit, que revient le mérite d'avoir résolu le premier ce problème difficile, par le projet du submersible *Narval*, qui en fournissait une solution tout à fait originale. Dans cette création du submersible, deux idées essentielles dominent : l'une relative aux moteurs, l'autre à la coque, les deux étant d'ailleurs étroitement connexes.

Les accumulateurs électriques étant trop lourds pour donner au bâtiment le rayon d'action voulu, il fallait recourir, pour la propulsion en surface, à un moteur léger et économique. Laubeuf mit à la suite, sur l'arbre porte-hélice, un moteur électrique et un moteur à vapeur.

Le moteur à vapeur, du type léger de torpilleurs, était alimenté par une chaudière chauffée au pétrole.

Grâce à l'emploi du combustible liquide, on pouvait mettre bas les feux instantanément, par la simple manœuvre d'un robinet, et plonger sans retard.

Du coup, le *Narval,* malgré son très faible déplacement (un peu plus d'une centaine de tonneaux en surface) était doté d'un rayon d'action dix fois plus grand que celui du *Gustave-Zédé.*

Mais, en outre, le moteur à vapeur pouvait être employé en surface pour faire tourner le moteur électrique, qui fonctionnait alors en dynamo génératrice d'électricité, en vertu du principe de la réversibilité des moteurs électriques. Le submersible pouvait donc recharger lui-même ses accumulateurs; il était ainsi affranchi de la nécessité de retourner à sa base de chargement, ou de la tutelle du navire ravitailleur; en d'autres termes, il était devenu autonome : avantage précieux qui faisait plus que doubler la valeur militaire de l'engin.

L'idée coque de Laubeuf n'était pas moins séduisante. Le but à atteindre était de doter le sous-marin des mêmes qualités nautiques que les bâtiments de surface, ou tout au moins de qualités approchantes. Jusqu'alors on avait construit uniquement les coques de sous-marins en forme de cigare, c'est-à-dire à sections circulaires, le cercle étant la courbe qui permet le plus aisément de résister à l'écrasement sous l'effet des pressions hydrostatiques de l'eau à grande profondeur. Mais ces formes rondes, facilement balayées par les lames, étaient les plus mauvaises possibles pour la tenue à la mer; elles n'étaient pas favorables non plus à la vitesse en surface. Bref, les sous-marins construits jusqu'à ce jour étaient des instruments sur lesquels on avait tout sacrifié à la plongée, et

qui étaient par suite les plus déplorables bâtiments de surface qu'on puisse imaginer.

Pour qu'un sous-marin devienne capable de tenir la mer en surface, il ne suffisait pas d'augmenter sa flottabilité, c'est-à-dire le volume de coque qui émerge, il était indispensable de lui donner des formes de bâtiments de surface, avant droit en coin, arrière traînant. Mais si, brutalement, on avait appliqué ce tracé à une coque de sous-marin, le bâtiment n'aurait pas manqué de s'écraser dès qu'il aurait plongé à plus de 15 ou 20 mètres ; car ces formes de bâtiments de surface, très éloignées de la forme circulaire, résistent aussi mal que possible à la pression extérieure. Comment concilier ces deux nécessités opposées? par l'emploi de la double coque. C'est l'inspiration de génie qu'a eue Laubeuf. Il a pris une coque de torpilleur ordinaire [1] et à l'intérieur de cette coque il en a placé une seconde, très résistante, à sections circulaires, enfin une coque de sous-marin. Et cette solution résolvait du même coup une autre face du problème, celle des water-ballasts. On sait que le volume de ces ballasts, qu'on remplit d'eau pour la plongée, est, en vertu du principe d'Archimède, exactement égal au volume de la coque émergeant en surface, c'est-à-dire à la flottabilité. Comme il s'agissait de donner au sous-marin une grande flottabilité, il était nécessaire de trouver la place de volumineux ballasts ; l'intervalle compris entre la coque intérieure et la coque extérieure fournissait précisément les ballasts voulus, sans créer aucun encombrement à l'intérieur du bâtiment lui-même.

(1) Il a même eu soin, parmi les torpilleurs, de choisir ceux dont les lignes dues au grand constructeur havrais, Augustin Normand, étaient les plus heureuses.

Tel était le principe du nouveau bâtiment qui reçut le nom de *Narval,* et dont l'apparition ouvrait une ère nouvelle dans l'évolution de la construction sous-marine. Pour le réaliser, bien des problèmes accessoires durent être résolus : notamment le remplissage rapide des ballasts, dont dépendait la rapidité avec laquelle le bâtiment pouvait prendre la plongée et disparaître, se présentait dans des conditions particulièrement ardues, en raison du grand volume d'eau. Sur le *Narval,* Laubeuf admit une durée de vingt minutes, qui paraît tout à fait excessive à l'heure actuelle, où le temps qui s'écoule, entre l'ordre de plongée du bâtiment et sa disparition sous les flots, se compte non plus en minutes, mais en secondes.

Disons tout de suite, d'ailleurs, qu'à l'essai, la durée de remplissage des ballasts fut bien inférieure à un quart d'heure, et les progrès réalisés, par la suite, ont été tels qu'on est arrivé à la réduire successivement à cinq minutes, puis à trois et même à moins de deux minutes, bien que le volume des ballasts à remplir soit devenu plus de quatre fois plus grand que celui du *Narval.*

Un simple chiffre montrera, mieux que toute explication, l'importance de ces mouvements d'eau, sur les grands submersibles. Sur des bâtiments des derniers types, la capacité des ballasts dépasse 400.000 litres, et on arrive à les remplir complètement en deux minutes, ce qui fait un torrent d'eau, s'introduisant dans les flancs du navire à raison de 200.000 litres par minute, ou près de 3.400 litres à la seconde : c'est le débit d'une petite rivière. Si l'on additionne, d'ailleurs, les sections de toutes les vannes de remplissage des ballasts, on trouve une section totale d'orifice

de plusieurs mètres carrés. C'est une vraie trombe d'eau, divisée en plusieurs canaux, qui se précipite entre les deux coques.

Pour en revenir au *Narval*, ce premier submersible avait des dimensions modestes : il déplaçait à peu près 106 tonneaux en surface seulement et 200 en plongée, et n'avait que 36 mètres de longueur. Il portait, malgré sa petitesse, quatre torpilles prêtes à être lancées, ce qui constituait, par comparaison avec les sous-marins contemporains, un armement formidable.

Il était mû en surface par une machine à vapeur alimentée par une chaudière à pétrole ; il filait ainsi 10 nœuds.

En plongée, sa vitesse ne dépassait pas sensiblement 6 nœuds.

Dès les premiers essais du *Narval*, les qualités du nouveau type de bâtiment s'affirmèrent ; les marins notamment, qui n'aimaient pas beaucoup les sous-marins construits jusqu'alors et leur reprochaient, tout bas, d'être des « mécaniques d'ingénieurs », s'accordèrent pour reconnaître que le *Narval* faisait une heureuse exception, qu'il possédait ce « je ne sais quoi » indéfinissable, comme on chante dans la *Mascotte*, qui fait qu'un bateau est marin.

Le *Narval* allait d'ailleurs montrer ses qualités dans des épreuves décisives. Dès que le bâtiment fut parfaitement au point et son armement terminé, on décida de l'envoyer de Cherbourg, où il avait été construit, à Saint-Malo, d'abord, et retour, et ensuite à Brest.

Pour cette expédition mémorable, qui causa en son temps dans le monde maritime la même sensation, qui excita la même curiosité que le pre-

mier vol d'aéroplane hors d'un aérodrome, de ville à ville, on prit la précaution de faire convoyer le *Narval* par un torpilleur de haute mer. Les parages à l'ouest du Cotentin sont en effet semés d'îles et de récifs nombreux, sur lesquels la mer se brise avec furie; les courants dus à la marée sont particulièrement violents et rendent la navigation difficile. Le *Narval* partit, en compagnie de son convoyeur, dans une saison où la Manche est généralement mauvaise. Peu après le départ, le temps se gâta; la houle se fit plus creuse; ce n'était pas à proprement parler une tempête, les marins n'emploient guère ce mot-là, mais c'était franchement du mauvais temps, c'était une mer très dure selon leur appréciation. Le contre-torpilleur, ballotté sur les lames, embarquait des paquets d'eau, et, plein de commisération pour le frère inférieur, le *Narval,* lui demande s'il ne désire pas virer de bord et rentrer au port. « Tout va bien à bord, je continue ma route », tel fut le message que le *Narval* signala en réponse à la question posée. Chose remarquable, malgré ses petites dimensions, le *Narval* dansait beaucoup moins sur la mer que le contre-torpilleur. Étant hermétiquement clos, à part le panneau du ventilateur et celui de la cheminée, il supportait aisément les paquets de mer; bref, contrairement à ce que l'on aurait pu penser, le petit submersible était beaucoup moins gêné par cette forte mer que le gros torpilleur. Cette constatation, bien des fois renouvelée depuis, fut à cette époque une vraie révélation. Le *Narval* arriva ainsi sans encombre à Saint-Malo, où sa venue fut fêtée comme elle le méritait.

La fierté de l'exploit accompli, l'amour-propre aidant, l'équipage du submersible, en débarquant,

se trouvait beaucoup plus dispos, moins fatigué que les hommes du contre-torpilleur. Ceux-ci avouaient, en effet, dans leur rude langage, qu'ils avaient « salement bourlingué durant la traversée ».

Enhardi par le succès de cette première traversée, le *Narval,* après son retour à Cherbourg, fut envoyé à Brest, voyage beaucoup plus long. La navigation se fit rigoureusement en tenue de combat, c'est-à-dire avec toutes les torpilles à bord. De plus, on avait fixé à cette mission un programme militaire : arrivé devant le goulet de Brest, le *Narval* devait plonger et franchir en plongée la passe, absolument comme s'il s'était agi de la forcer en temps de guerre ; enfin, une fois entré dans la rade de Brest, il devait lancer ses torpilles, pour vérifier si les chocs de la mer pendant le voyage n'avaient faussé aucun mécanisme et ne les avaient pas déréglées. Ce programme fut rempli en tous points par le *Narval*.

Cette dernière épreuve, qu'aucun des sous-marins de l'époque n'aurait pu même tenter, démontrait la haute valeur du nouveau type de bâtiment créé par Laubeuf.

A ce moment la France, qui avait toujours tenu la tête dans la construction des sous-marins, possédait une avance considérable sur toutes les autres puissances maritimes. Pour maintenir cette avance et l'accroître encore, il lui suffisait de consacrer avec méthode des crédits suffisants à la construction des sous-marins, tout en gardant jalousement le secret des dispositions intérieures de ces bâtiments. La seconde condition était peut-être, plus encore que la première, difficile à réaliser, et l'on verra par la suite comment des fuites ont pu se produire et ont permis à cette nation,

que nous avons le droit d'appeler notre ennemie héréditaire, de nous dérober le fruit des travaux de nos ingénieurs et de nos officiers.

Les sous-marins mis en chantier en France après le *Narval* ont été, pour la plupart, des submersibles, c'est-à-dire des bâtiments dérivés du *Narval,* et dont les dimensions étaient progressivement augmentées, de manière à accroître, soit leur armement, soit leur vitesse, soit leur rayon d'action, bref leur valeur militaire. Ce sont les quatre submersibles *Sirène, Triton, Silure, Espadon* de 150 tonneaux, puis l'*Aigrette* et la *Cigogne* de 175 tonneaux.

Avec ces deux derniers bâtiments apparaît un nouveau progrès important, la substitution de moteurs à pétrole lourd, du système Diesel, aux appareils à vapeur. Ce changement constituait une amélioration sérieuse à plusieurs égards : accroissement du rayon d'action, grâce à l'économie du combustible; diminution de la visibilité du sous-marin en surface par suite de la suppression de la fumée; possibilité de remise en marche presque instantanée après la plongée, alors que les chaudières demandaient plusieurs quarts d'heure pour être remises en pression.

Pendant cette période, la France a continué à construire, en même temps que ces submersibles, un certain nombre de sous-marins; mais ces sous-marins, à leur tour, avaient dû se modifier afin d'acquérir au moins une partie des avantages des submersibles.

Les *Naïade*, petits bâtiments de 70 tonneaux, les sous-marins *X, Y, Z,* les sous-marins type *Emeraude,* ont tous été pourvus d'un double moteur, électrique en plongée, à pétrole en surface,

ce qui leur donnait, à défaut des qualités nautiques des submersibles, du moins la même distance franchissable. Néanmoins, cette dualité de types n'était pas avantageuse ; vers 1906, on se rendit compte de la nécessité d'unifier la construction en faisant un choix définitif. On procéda alors à des expériences comparatives entre deux bâtiments appartenant chacun à l'une des deux catégories : l'*Aigrette* pour les submersibles et le *Z* pour les sous-marins. Ces expériences furent très nettement en faveur du submersible ; elles démontrèrent victorieusement que le submersible, malgré le volume énorme de ses ballasts, pouvait les remplir d'eau assez rapidement pour plonger et disparaître aussi vite que le sous-marin à faible flottabilité ; et d'autre part, si, en plongée, le submersible n'était inférieur en rien au sous-marin, en surface il avait une supériorité très marquée qui le rendait seul apte aux longues croisières.

La question si longtemps controversée était enfin nettement tranchée. A partir de ce moment on ne mettra plus en chantier, en France, de sous-marins proprement dits (1), et l'on entreprend résolument la construction de submersibles en série. Ce sont les dix-huit submersibles type *Pluviôse,* à vapeur, suivis bientôt des seize submersibles, type *Brumaire,* identiques aux précédents à l'exception des moteurs de surface qui étaient à pétrole. Cette série de trente-quatre bâtiments à peu près homogènes était encore due aux plans de l'ingénieur Laubeuf. Ce sont des bâtiments robustes, de 400 tonneaux en surface, environ, à

(1) A l'exception d'un bâtiment d'expériences, le *Mariotte,* qui s'est perdu dans les Dardanelles.

deux hélices. Ils ont un peu plus de 50 mètres de longueur, un très puissant armement de sept torpilles, une vitesse en surface de 12 à 13 nœuds, et, en plongée, ils filent 8 nœuds ; leur équipage, officiers compris, est de 26 hommes.

Si l'achèvement des derniers submersibles de cette série n'avait pas été retardé par des difficultés de mise au point des moteurs à pétrole, la France aurait eu, il y a quelques années, une superbe flottille sous-marine, lui donnant une supériorité très marquée sur toutes les autres puissances. Cette supériorité, dans les années qui ont suivi 1906, a du reste été incontestée, et il est évident que ce sont les brillants résultats obtenus par la France, entrant la première dans la voie de l'utilisation pratique et à grande échelle des sous-marins, qui ont attiré l'attention des autres pays, sur l'importance de la nouvelle arme et stimulé leurs efforts. La France, en cette matière comme en bien d'autres, aura été l'initiatrice.

C'est en effet seulement à partir de 1908 ou 1910 que l'on voit, dans les budgets navals de l'Angleterre et de l'Allemagne, apparaître des crédits notables à la rubrique : construction de sous-marins ; et bientôt ces sommes vont s'enfler progressivement.

Mais l'effet de cet accroissement des dépenses consacrées aux sous-marins ne s'est pas fait sentir immédiatement. Il a fallu plusieurs années à l'étranger pour rattraper l'avance que nous avions prise. La question du matériel, en effet, n'est pas la seule à envisager ; sans doute, une nation dont l'industrie est très développée peut arriver à construire de toutes pièces un grand sous-marin en moins d'un an ; mais il faut beaucoup plus de

temps pour former de bons équipages et plus encore pour obtenir de bons commandants de sous-marins.

Ce qui exige le plus de temps, enfin, c'est d'apprendre à se servir convenablement de la nouvelle arme, d'établir un corps de doctrine pour l'utilisation du sous-marin ; cette pratique nouvelle ne s'improvise pas dans les bureaux d'une académie navale : elle ne peut être que le fruit des manœuvres, des exercices répétés.

Voilà ce que la France avait acquis patiemment, d'abord, avec les petits submersibles *Narval, Sirène, Triton, Silure, Espadon, Aigrette, Cigogne*, groupés dans le port de Cherbourg et soumis à un entraînement intensif, prenant la mer chaque jour, puis avec les premiers submersibles type *Pluviôse*. Et ce que la marine française avait acquis ainsi d'expérience pratique, on ne pouvait pas le lui dérober comme le secret de la construction d'une coque ou d'une machine.

Pour l'obtenir, il fallait que l'étranger construisît d'abord des sous-marins en nombre suffisant pour pouvoir les faire manœuvrer par groupes et refît toutes les écoles que nous avions faites. C'est pour cela que notre avance a pu être conservée pendant quelques années.

Dans les années qui ont suivi, la marine française, tout en construisant des submersibles identiques en série, les dix sous-marins type *Clorinde* notamment, ne se berçait pas de l'illusion qu'elle possédait le type définitif du bâtiment sous-marin ; elle laissait la porte ouverte à de nouveaux progrès, en instituant des concours pour l'établissement des plans de bâtiments hors série qui étaient construits en petit nombre, dans un but d'expé-

rience. C'est de ces concours que sont sortis l'*Archimède,* de 580 tonneaux en surface et 800 en plongée, qui a filé plus de 15 nœuds en surface, le *Mariotte* et l'*Amiral-Bourgois*, variantes à moteurs à pétrole du programme de l'*Archimède;* le *Charles-Brun,* bâtiment très spécial, qui n'employait pas l'électricité en plongée, mais utilisait une chaudière accumulatrice inventée par l'ingénieur général Maurice.

Plus récemment, on a essayé la construction de sous-marins beaucoup plus grands, comme le *Gustave-Zédé,* la *Néréide,* le *Dupuy-de-Lôme* et le *Sané,* qui dépassent 800 tonneaux de déplacement en surface.

L'accroissement de tonnage permettait à la fois de renforcer l'armement en torpilles, d'augmenter l'approvisionnement de combustible, et par suite le rayon d'action, et en même temps de doter ces bâtiments d'aménagements relativement confortables, bien nécessaires à l'équipage, puisque le sous-marin devait tenir la mer pendant plusieurs semaines. Sur ces nouveaux bâtiments, chaque officier a sa chambre, fort exiguë à la vérité, mais où l'on a trouvé néanmoins la place de loger, en plus de la couchette, une armoire à vêtements, un lavabo, type de la Compagnie des Wagons-Lits, et même une minuscule table-bureau surmontée d'une étagère à livres décorée pompeusement du nom de bibliothèque de bord. Il y a une cuisine, munie de fourneaux électriques, qui permettent de préparer des repas chauds même pendant les plongées de longue durée. Il y a un carré, ou salle à manger pour les officiers; les simples matelots n'ont qu'un poste aménagé de couchettes et de hamacs, avec des lavabos et des tables rabattables.

En même temps, les progrès réalisés dans la construction des appareils moteurs, tant électriques qu'à pétrole, rendaient possibles des vitesses plus considérables et permettaient d'envisager des parcours sous l'eau beaucoup plus longs. Les gros sous-marins ont reçu le nom de sous-marins de haute mer. Les plus rapides d'entre eux ont filé en surface jusqu'à 19 nœuds; en plongée, ils ont dépassé 11 nœuds. A petite vitesse, sous l'eau, ils peuvent marcher plus de quarante-huit heures sans qu'il soit besoin de recharger leurs batteries d'accumulateurs, et parcourir 300 à 400 kilomètres, sans être obligés de remonter à la surface. Ils portent jusqu'à dix appareils lance-torpilles. Tels sont, en France, les types *Dupuy-de-Lôme, Lagrange, Joëssel,* dont les derniers sont encore en construction au moment où nous mettons sous presse.

Sans doute, les années qui suivront verront-elles l'apparition de sous-marins plus grands encore, plus rapides et plus puissants; mais dès maintenant on peut considérer que les sous-marins des types les plus récents ont atteint un haut degré de perfection et constituent une arme de la plus grande valeur.

Ces bâtiments, grâce à leur déplacement de 800 à 900 tonneaux et aussi à leurs formes bien étudiées, tiennent remarquablement bien la mer; ils peuvent affronter tous les temps et méritent bien leur nom de sous-marins de haute mer. Ils emportent des vivres et du combustible pour plus de trente jours; les installations intérieures pour le personnel, leur habitabilité, pour employer l'expression technique consacrée, est largement suffisante pour que l'équipage supporte ces longues croisières sans éprouver une fatigue excessive, en tout cas sans dépasser

les limites de l'endurance et des forces humaines. Ils seraient tous capables de traverser l'Atlantique, et plusieurs d'entre eux l'ont fait effectivement. Malgré ces grandes dimensions, on a su conserver à ces sous-marins toutes les qualités des plus petits : souplesse de manœuvre et rapidité de prise de la plongée.

A l'étranger, l'évolution de la construction sous-marine a été la même qu'en France ; sauf les petites nations qui étaient obligées, par la modicité de leur budget, de se contenter de petits sous-marins défensifs, toutes les autres puissances, en ces dernières années, se sont orientées vers la construction du gros sous-marin, plus ou moins rapide, mais toujours très robuste, très marin, fortement armé et doué d'un rayon d'action considérable.

En Allemagne et en Italie, on a réalisé ce programme par les mêmes moyens que nous, c'est-à-dire en construisant des submersibles, bâtiments à forte flottabilité et à double coque, qui dérivent tous plus ou moins directement de leur ancêtre commun le *Narval*. Ailleurs, en Angleterre notamment et aux États-Unis, on est resté, à quelques exceptions près, fidèle au type sous-marin proprement dit (1), mais c'est le même programme qu'on a cherché à réaliser par des moyens différents. Ainsi qu'on pouvait s'y attendre, pour rendre les sous-marins proprement dits capables de remplir le même programme que les submersibles, on a dû les modifier assez profondément. Pour donner de la tenue à la mer à ces bâtiments, on a dû relever

(1) Les Américains ont, en effet, un type de submersible particulier, le type *Symon-Lake*, et les Anglais ont fait dans ces dernières années des achats de submersibles *Laubeuf* à MM. Schneider et Cie et de submersibles *Laurenti* à la Société Fiat San Giorgio.

sensiblement le taux de leur flottabilité qui est passé de 5 ou 7 °/₀ à 12 ou 13 °/₀ et même quelquefois à 15 °/₀ [1]. Le sous-marin s'est donc rapproché sensiblement du submersible. Arrivé à ce point, la barrière qui les séparait encore, nous voulons dire le système de construction de la coque, ne pouvait pas résister bien longtemps. En effet, la grande Société l' « Electric Boat Cy », qui exploite les brevets Holland et n'avait jusqu'alors construit que des sous-marins proprement dits, vient dans son type le plus récent d'adopter le principe des ballasts extérieurs et la double coque. Ceci montre bien que la fusion est près de se faire et que, à l'avenir, sous-marins et submersibles convergeront vers un type unique.

(1) On appelle taux ou coefficient de flottabilité d'un navire sous-marin le rapport du volume émergeant en flottaison lège au volume total en plongée. Ce rapport varie, sur les submersibles, de 20 à 35 °/₀.

CHAPITRE II

LES SOUS-MARINS DES DIFFÉRENTES PUISSANCES BELLIGÉRANTES

Avant de passer en revue les sous-marins que possèdent les différentes puissances belligérantes, il est nécessaire de donner quelques brèves indications sur les principaux éléments qui constituent la valeur militaire de ces divers petits bâtiments.

Les sous-marins naviguant tantôt en surface, tantôt en plongée (1), ces éléments ou caractéristiques seront doubles. Ainsi, un sous-marin filera, par exemple, 16 nœuds au maximum en surface (le nœud, unité de vitesse en marine, vaut 1.852 mètres à l'heure); c'est la vitesse que lui impriment ses moteurs de surface lorsqu'ils développent toute leur puissance. En plongée, ce sont les moteurs électriques, généralement un peu moins puissants que les moteurs de surface, qui sont en action. De ce fait, la vitesse sera déjà un peu moindre; mais, en outre, en plongée, la coque complètement im-

---

(1) Parfois dans une position intermédiaire, appelée la demi-plongée, et qui a l'avantage de permettre au sous-marin de disparaître très rapidement, s'il est aperçu, tout en économisant, par rapport à la plongée complète, sa réserve d'énergie électrique.

mergée offre une résistance à la marche beaucoup plus considérable qu'en surface; la surface mouillée de la carène s'accroît, en effet, en plongée, de toute la partie qui émergeait en flottaison lège, et l'on sait que la résistance d'une carène à la marche est à peu près proportionnelle à la surface mouillée, tant qu'il s'agit, comme dans le cas qui nous occupe, de vitesses modérées. Il en résulte donc que, à vitesse propulsive égale, le sous-marin aura en plongée une vitesse sensiblement inférieure à la vitesse de surface. Cette perte de vitesse à puissance égale varie évidemment suivant le type de bâtiment, suivant le développement plus ou moins considérable des superstructures : elle est généralement comprise entre 15 et 25 °/₀ et dans certains cas peut atteindre 35 °/₀.

Pour ces deux raisons, moindre puissance des moteurs électriques et plus grande résistance à la marche, la vitesse maxima en plongée sera très notablement inférieure à la vitesse de surface. Ce sera 10 ou 11 nœuds pour le sous-marin que nous avons pris comme exemple.

La vitesse est un des éléments qui parlent le plus à l'imagination; mais il est d'autres caractéristiques plus importantes encore à considérer dans le sous-marin, car elles sont liées, non plus seulement à son rôle tactique, mais à son utilisation stratégique. La distance franchissable, ou rayon d'action, est une de celles-là.

La distance franchissable en surface dépend de la contenance des soutes à combustible, et en outre de la vitesse de route considérée. L'emploi très généralisé de moteurs à pétrole à combustion interne, du genre Diesel, a permis de donner aux sous-marins des rayons d'action considérables. On sait en effet

qu'une des propriétés les plus précieuses du moteur Diesel est d'être très économique. Aux allures les plus avantageuses un moteur Diesel consommera moins de 200 grammes de pétrole lourd; par cheval-heure, c'est environ la moitié de ce que consomment d'essence les moteurs à explosion employés sur les automobiles ou les aéroplanes, c'est le tiers, à peu près, de ce que consommerait une machine à vapeur dont la chaudière serait chauffée au pétrole.

Grâce à cette économie remarquable, les sous-marins pourront donc parcourir des distances considérables, s'éloigner à des centaines, à des milliers de kilomètres de leur base de ravitaillement, sans qu'il soit nécessaire pour cela de leur donner un volume de soutes à pétrole excessif. D'autre part, le pétrole est, à cet égard, un combustible très avantageux, bien supérieur au charbon. Indépendamment des facilités particulières que son état liquide procure pour son embarquement, puisqu'il suffit d'une pompe pour faire le plein des réservoirs, le pétrole a l'avantage de remplir complètement les soutes, sans qu'il y ait d'espace perdu comme cela arrive inévitablement avec le charbon, surtout quand on emploie du charbon en roche. Enfin, avons-nous dit, la distance franchissable en surface, sur un bâtiment donné, varie avec la vitesse de route adoptée; et ceci permet, par un choix judicieux de cette vitesse, d'accroître énormément le rayon d'action. Le calcul montre, en effet, et l'expérience vérifie que le rayon d'action varie à peu près exactement en raison inverse du carré de la vitesse; en d'autres termes, si un navire peut franchir 1.000 milles à la vitesse de 16 nœuds, à une vitesse deux fois moindre, soit à 8 nœuds, il pourra en franchir $2 \times 2 = 4$ fois plus, soit 4.000 milles.

Or, il faut observer que la navigation en surface, pour un sous-marin, n'est en quelque sorte que la préface de l'opération militaire qu'il va exécuter, c'est, pour lui, uniquement le moyen de se rendre sur le lieu de combat qui lui est assigné, en économisant le plus possible son énergie électrique. Dès lors, dans la généralité des cas, il lui sera loisible de faire route aussi lentement qu'il lui conviendra ; ce n'est pas comme les croiseurs, appelés les lévriers de la mer, un bâtiment qui doit engager la poursuite avec des ennemis rapides qui fuient devant lui et qu'il doit rattraper au plus tôt, faute de quoi il les verra lui échapper.

Le sous-marin se rend à son poste comme une troupe, placée en réserve assez loin dans l'intérieur du pays, se rend à l'emplacement qui lui a été désigné au front. Dans ce cas, rien ne sert de courir, l'essentiel est d'être à l'heure dite au point donné, et pour cela il suffit de partir suffisamment tôt. Le sous-marin peut donc faire route aussi lentement qu'il veut, c'est-à-dire choisir ce que l'on appelle l'allure économique, la vitesse pour laquelle la consommation de combustible, par mille parcouru, est la plus faible.

La grande vitesse en surface et le grand rayon d'action à allure réduite sont deux qualités qu'il est difficile de réaliser à la fois sur un même bâtiment. Voici pourquoi : les moteurs à pétrole sont des appareils dont le rendement est maximum à pleine puissance ; par exemple, un moteur Diesel à quatre temps, qui consomme 200 grammes de combustible par cheval-heure effectif à pleine charge, en consommera 230 à 240 à demi-charge, 280 grammes à quart de charge, et au dixième de la puissance maxima, sa consommation par cheval-

heure dépassera 300 grammes. Si donc un sous-marin a une vitesse si modérée, 13 nœuds au maximum, par exemple, à l'allure de route comprise entre 10 et 11 nœuds il devra faire développer à ses moteurs environ la moitié de leur puissance maxima (1); ceux-ci travailleront donc dans des conditions économiques assez voisines du rendement maximum.

Considérons au contraire un sous-marin extra-rapide, capable de filer 20 nœuds. A l'allure de route de 10 à 11 nœuds, ses moteurs développeront à peine le huitième de leur puissance maxima; ils fonctionneront donc dans des conditions très peu économiques. Si l'on observe, en outre, que ces moteurs très puissants sont forcément lourds, et que le poids qui leur est consacré réduit d'autant celui de l'approvisionnement de combustible, on comprendra clairement comment il se fait que la grande vitesse et la grande distance franchissable soient deux éléments difficilement conciliables.

Les considérations exposées ci-dessus aideront à comprendre les tableaux que nous donnerons des caractéristiques des différents sous-marins.

SOUS-MARINS FRANÇAIS

Nous avons été amené, dans le chapitre I, à nous étendre avec assez de détails sur la construction des sous-marins français. Il est donc inutile d'y revenir ici, et il suffira de résumer l'état de notre flottille sous-marine au début de 1914 dans le tableau ci-après :

(1) L'expérience prouve que la puissance propulsive, sur un bâtiment, croît comme le cube de la vitesse; en d'autres termes, pour obtenir une vitesse double, il faut huit fois plus de puissance.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE		APPAREILS L.-T.
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE	
					Nœuds	Nœuds	
Circé	1	1904	351	500	11	8	VI
Émeraude	6	1902-1905	400	430	11	9	III
Pluviôse	18	1905-1908	400	550	12,5	8	VII
Brumaire	16	1907-1911	400	550	12,5	8,5	VII
Clorinde	10	1912-1914	410	600	14	9	VIII
Archimède	1	1907-1909	580	800	15	11	VII
Mariotte	1	1907-1910	530	600	15	11	VI
Bourgois	1	1907-1910	580	700	15	11	VII
Gustave-Zédé	2	1914	800	1.100	18	11	X
Gorgone	3	En construction.	530	790	17	10	VII
Diane	2	Id.	630	900	18	11	X
Dupuy-de-Lôme	2	Id.	840	1.300	19	11	VIII
Lagrange	4	Id.	840	1.300	18	11	VIII
Joëssel	2	Id.	870	1.200	18	11	X

SOUS-MARINS ANGLAIS

L'Angleterre s'est mise assez tard à la construction des sous-marins. Tout au début, elle a paru mépriser la nouvelle arme ; disons le mot, elle la voyait d'un mauvais œil ; forte de sa situation insulaire garantie par la première flotte du monde, elle ne pouvait pas souhaiter le développement d'un engin qui pouvait changer profondément les conditions de la guerre navale.

Mais, comme les autres nations n'en continuaient pas moins à construire des sous-marins, l'Amirauté anglaise adopte une nouvelle attitude ; elle aussi elle aura des sous-marins, mais non pas pour sa défense, uniquement pour bien connaître la nouvelle arme et étudier expérimentalement les moyens de détruire les sous-marins. Pour cela, elle s'est adressée à la maison Holland qui lui a fourni ses premiers sous-marins. Mais il faut croire qu'à l'usage, les Anglais sont revenus de leurs préventions initiales et ont reconnu l'utilité des sous-marins, même pour une grande puissance navale comme eux ; l'Amirauté adopte, en effet, peu après, une troisième attitude : elle commande des sous-marins, par série, en grand nombre, non plus comme bâtiments d'expériences, mais bel et bien comme navires de combat. Depuis, elle n'a pas changé et a poursuivi le développement de sa flottille sous-marine avec une méthode, une régularité et un esprit de suite qui ne peuvent être comparés qu'à ceux de l'Allemagne. Les Anglais ne se sont pas piqués d'être des inventeurs de sous-marins : ce sont, suivant une de leurs expressions favorites, des *practical men*. Ils ont acheté le type de sous-marin

qui leur paraissait le meilleur parmi tous ceux qu'offrait l'industrie privée. Ils l'ont copié d'abord à un certain nombre d'exemplaires; puis ils l'ont reproduit en l'agrandissant peu à peu et en perfectionnant les détails; et ils ont continué ainsi pendant plusieurs années, mettant en chantier à chaque budget des séries de 6, 8, 10 et même 20 sous-marins identiques, chaque fois un peu plus gros, un peu plus rapides ou mieux armés que les précédents. Et ils sont arrivés ainsi à avoir une flottille de premier ordre.

Indépendamment de l'homogénéité absolue des bâtiments appartenant à une même série, les caractéristiques des sous-marins anglais sont leur robustesse et leur simplicité.

Ils n'ont pas cherché à obtenir, avec un déplacement donné, la vitesse maxima possible, l'armement maximum, le plus grand rayon d'action possible. Ils ont voulu des bâtiments marins; ils ont adopté délibérément un fort tonnage afin d'être plus à l'aise pour remplir le programme qu'ils jugeaient nécessaire; ils ont fait des coques solides, et volontairement sacrifié les records de vitesse à la qualité qui leur a paru la plus essentielle : l'endurance.

Toutefois, depuis 1914, l'Amirauté s'est montrée plus éclectique : tout en continuant la construction en série de ses sous-marins dérivés du *Holland*, elle a acheté divers types de submersibles : en France des *Laubeuf*, en Italie des *Fiat-San-Giorgio*, afin de les expérimenter.

Le tableau ci-après donne les caractéristiques principales des diverses classes de ces sous-marins.

A partir de 1914, les annuaires ne donnent plus aucun renseignement sur les nouvelles constructions.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE		TUBES
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE	L.-T.
					Nœuds	Nœuds	
A	9	1904	180	207	11,5	7	»
B	10	1905	280	313	13	8	»
C_1 — C_{18}	17	1906-1907	280	313	13	8	II
C_{19} — C_{38}	20	1908-1909	280	313	13	8	II
D	9	1910-1911	550	600	16	9	III
E	18	1912	»	810	16	9	IV
F	8	1913	»	1.200	20	»	»

SOUS-MARINS ITALIENS

A l'inverse des Anglais, les Italiens ont mis beaucoup d'originalité dans la construction de leurs sous-marins et, au lieu d'adopter un type commercial et de le perfectionner progressivement, ils ont créé des types nouveaux. Malheureusement, leur budget de la marine, beaucoup plus limité, ne leur permettait pas de les construire en série.

Le *Delphino* de 1894 est un sous-marin analogue à notre *Morse,* sans grande valeur militaire.

Le *Glauco,* le *Squalo,* le *Narvalo,* l'*Otaria,* le *Tricheo,* construits en 1906-1907, sont des sous-marins un peu plus gros (180 tonneaux en surface) sans beaucoup d'intérêt. Au contraire, les neuf submersibles types *Foca, Medusa,* construits par la firme Fiat San Giorgio à La Spezia, sur les plans de l'ingénieur Laurenti, paraissent des bâtiments très réussis. Étant donné leur déplacement très modéré (225 tonneaux en surface), la vitesse de 14,6 nœuds qu'ils ont donnée est remarquable. On peut leur reprocher toutefois d'être de construction un peu légère, aussi bien comme moteurs que comme coque.

Le *Nautilus* et la *Nereide,* construits à Venise, sont du type Bernardis ; leur déplacement atteint 400 tonneaux en surface.

Le *Pullino* et le *Ferraris,* construits à La Spezia en 1912, ont 345 tonneaux et filent 15 nœuds en surface et 9 en plongée.

Enfin, au début de la guerre, les Italiens avaient en chantier huit sous-marins de la série *Pietro-Mica,* de 700 tonneaux, qui devaient filer 18 nœuds en surface et 12 en plongée.

SOUS-MARINS RUSSES

La Russie donne le plus parfait exemple de l'éclectisme : elle a acheté des sous-marins à l'Allemagne, du type Krupp, aux États-Unis, du type Lake et du type Holland, à l'Italie du type Fiat, et elle a même construit des sous-marins sur des plans d'ingénieurs russes. Le tableau ci-après donne la situation de sa flotte sous-marine au début des hostilités.

TYPE	NOMBRE	DATE	TONNAGE		VITESSE	
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE
					Nœuds	Nœuds
Makrel (Russe)	7	1904	150	200	9,5	7
Sig (Américain)	1	1904	135	175	10	7
Krokodil (*Lake*)	4	1908	450	500	16	6,5
Karp (Allemand)	2	1907	200	240	12	10
Kit (Russe)	6	1913-1914	460	600	15	11,5
Jasy (Fiat)	1	1914	700	»	16	12
Forel (Russe)	2	1914	700	»	16	12

SOUS-MARINS ALLEMANDS

L'Allemagne s'est mise très tardivement à la construction des sous-marins; le premier apparaît en 1906, il sort des chantiers Germania de Krupp à Kiel et il est construit d'après les plans d'un jeune ingénieur qui avait suivi à la fin du siècle dernier les cours de notre École d'application du génie maritime en qualité d'élève étranger. Il était à cette époque-là de nationalité espagnole. Si l'on remarque que cet ingénieur se trouvait en France et en rapports étroits avec les milieux maritimes français qui accueillaient ce jeune homme avec bienveillance, au moment même où s'élaboraient les plans de nos premiers submersibles, *Narval, Sirène,* on peut trouver la coïncidence assez curieuse. L'étonnement croîtra lorsqu'on saura que les plans, dont la grande firme de Kiel acquit la propriété pour un prix très élevé, étaient ceux d'un submersible à coque intérieure circulaire, à ballasts extérieurs légers et qui rappelait singulièrement notre *Aigrette,* non seulement par ses dimensions, ses formes, ses dispositions générales, mais même par des points de détail très caractéristiques.

Évidemment, depuis que Laubeuf a créé le *Narval,* plusieurs autres chantiers étrangers ont construit aussi des submersibles, et le principe même de ce genre de bâtiment paraît être tombé dans le domaine public. Mais, si l'on examine ces bâtiments, même sommairement, on constate que le constructeur, bien loin de copier servilement, a eu ses idées à lui, qu'il a modifié dans un sens, que

l'on peut juger plus ou moins heureux, la conception première de Laubeuf. C'est le cas pour les submersibles Fiat et Lake.

Chez Krupp rien de pareil ; dans ce premier bateau l'*U-1* on chercherait vainement une idée neuve personnelle et, tout naturellement, le mot de démarquage intelligent vient à la bouche.

Il est bien tard maintenant pour élucider ce point ; il n'en subsiste pas moins quelque chose d'assez louche dans les origines des submersibles allemands. En tout cas, nos ennemis devraient, s'ils avaient quelque franchise, apposer sur tous leurs sous-marins la même inscription que celle qu'ils gravent sur les fléchettes lancées par leurs avions :

INVENTION FRANÇAISE

APPLIQUÉE PAR LES ALLEMANDS

Partis de ce premier sous-marin, à peu près identique à nos submersibles, les Allemands ont continué la construction de bâtiments, chaque année un peu plus gros et également un peu plus nombreux. Il faut reconnaître qu'avec leur patience et leur méthode servie par de gros crédits, beaucoup plus considérables que ceux qui figurent dans les budgets officiels, ils ont largement rattrapé le temps perdu.

Ils ont été particulièrement aidés par leur industrie privée qui a su de bonne heure acquérir la pratique de la construction si délicate des moteurs Diesel ; on doit leur rendre cette justice qu'ils ont été les initiateurs du progrès dans la question des moteurs à pétrole.

Ce qui leur a permis, en outre, d'arriver à posséder une flottille sous-marine, si rapidement qu'au début des hostilités on n'en connaissait pas complètement l'importance, c'est qu'ils ont eu de la suite dans les idées, qu'ils ont possédé dès le début une politique navale bien arrêtée. C'est bien avant la guerre que les Allemands ont conçu l'idée du blocus de l'Angleterre par les sous-marins, par le torpillage sans merci de tous les navires de commerce, et c'est depuis des années qu'ils ont préparé cette façon de faire la guerre.

Ayant un objectif bien défini à l'avance, ils ont construit, non pas des sous-marins propres à tout faire, mais uniquement des sous-marins capables de remplir le rôle auquel ils les destinaient *a priori*.

Ayant peu de côtes, et leurs ports, placés dans des estuaires ou des rades profondes, étant peu vulnérables, ils ne se sont pas préoccupés d'avoir des sous-marins défensifs à petit rayon d'action. Ils ont cherché avant tout à avoir des bâtiments capables d'aller au loin sans avoir besoin d'être ravitaillés. Aussi ont-ils presque tout sacrifié au rayon d'action ; sauf pour quelques unités de gros tonnage, peu nombreuses, ils n'ont cherché la grande vitesse ni en plongée ni en surface ; ils ont préféré agrandir les soutes à pétrole, de manière que le sous-marin ait assez de combustible pour pouvoir se rendre sans escale de Wilhelmshafen à Constantinople ou en Amérique. Ils ont également porté leur attention tout spécialement sur la rapidité de plongée, prévoyant qu'en cas de guerre, la mer serait aux Anglais, et que leurs sous-marins, partout où ils s'aventureraient, devraient être sur le qui-vive, toujours prêts à chercher un refuge sous les flots.

Enfin, il semble bien que ce sont les Allemands qui ont les premiers muni leurs sous-marins de canons. Les autres puissances, à leur suite, ont mis des canons sur leurs sous-marins, mais plutôt par esprit d'imitation que dans un but militaire bien défini.

En effet, dans la guerre sous-marine, telle que les nations civilisées la comprenaient, on ne s'expliquait guère l'utilité de l'artillerie des sous-marins. Contre un bâtiment de guerre le sous-marin en surface aura toujours fatalement le dessous, et la seule tactique raisonnable pour lui est de plonger. Contre un bâtiment non armé... mais qui donc aurait, il y a trois ans, songé à s'attaquer aux pacifiques navires de commerce? personne, si ce n'est les Allemands qui, dès cette époque, avaient arrêté le plan de leur guerre sous-marine sans limite.

On voit donc que l'étude, toute technique, de la construction sous-marine en Allemagne, fournit, elle aussi, une preuve *a posteriori* de la préméditation de la Prusse dans la guerre actuelle.

Il est à peu près impossible de donner une liste exacte des sous-marins que possédait l'Allemagne à l'entrée en guerre. Le *Marine-Amt* a toujours évité de donner des renseignements précis sur ses sous-marins; tout au plus, en temps de paix, consentait-il à donner quelques indications sur les plus vieilles unités, celles qui étaient déjà démodées et sans valeur militaire. Aussi les listes des annuaires navals, en ce qui concerne les sous-marins allemands, sont-elles toutes ou incomplètes ou douteuses. Quoi qu'il en soit, nous donnons ci-après ces renseignements tels qu'ils résultent de ces publications.

CLASSE	NOMBRE	ANNÉE	TONNAGE		VITESSE	
			SURFACE	PLONGÉE	SURFACE	PLONGÉE
					Nœuds	Nœuds
U	1	1906	197	236	10	7
U_2 à U_6	5	1907-1910	210	250	13	8
U_7 à U_{16}	10	1910-1912	250	300	13	8
U_{17} à U_{19}	3	1913	350	450	14	8
U_{20} à U_{28}	9	1913-1914	700	890	17	12
U C (mouilleurs de mines).	»	1914	»	»	6	3
U B.	»	»	250	300	8	5
U	»	1915	700 à 800	»	16	»

CHAPITRE III

UTILISATION DES SOUS-MARINS

SOUS-MARINS DÉFENSIFS

Ainsi qu'on l'a vu dans le chapitre I, les premiers sous-marins, uniquement électriques, avaient un rayon d'action très faible ; la nécessité de revenir au bout de quelques heures à leur port d'attache pour y recharger leurs accumulateurs était pour eux comme un fil à la patte qui leur interdisait absolument les longues randonnées. Mais, même ainsi limitée, la valeur militaire de ces bâtiments restait très grande au point de vue défensif. Ils ne pouvaient pas aller au loin, sans doute, mais la puissance de leur arme, la torpille, leur permettait de s'attaquer aux plus gros vaisseaux de guerre et de les couler ; dans l'étroite zone où ils devaient se confiner, ils restaient les maîtres de la mer, puisqu'ils étaient capables d'en interdire l'accès à n'importe quel ennemi. Le rôle défensif de garde-rade, garde-port a donc été le premier qu'on ait assigné aux sous-marins, et c'est encore, à l'heure actuelle, celui pour lequel leur valeur demeure incontestée. Grâce à eux, le bombardement par une escadre d'un point important

de la côte, port de guerre ou port de commerce, peut être rendu tout à fait impossible. Et à cet égard, les renseignements de la guerre actuelle n'ont fait que confirmer ce que les experts en questions maritimes avaient annoncé dès l'apparition des sous-marins ; désormais, l'attaque de vive force par une escadre d'une rade, d'un port de guerre défendus par des sous-marins n'est plus possible ; c'est une entreprise devenue téméraire et qui n'a plus aucune chance de réussite. C'est, dans bien des cas, la méconnaissance de ce fait, qui a amené l'insuccès de tentatives que les marines mieux averties évitent maintenant.

Cette valeur défensive du sous-marin en fait naturellement l'arme toute désignée des faibles, des petites nations, qui n'ont jamais eu et ne pourraient même pas avoir d'intentions agressives, mais qui, malgré la pureté de leurs intentions, ne sont pas à l'abri des agressions de la part des forts. Le sous-marin leur permet de résister, de protéger leurs côtes. Et de plus, comme le sous-marin, et tout particulièrement le sous-marin défensif à petit rayon d'action, est un bâtiment de petites dimensions, son prix est relativement peu élevé ; les petites puissances peuvent donc par ce moyen, et sans obérer leur budget de la marine, se constituer des moyens de défense efficace.

Il n'existe pas, à proprement parler, de type spécial pour le sous-marin défensif ; un sous-marin de haute mer est en effet tout à fait capable d'assurer la défense des côtes ; son fort approvisionnement de combustible lui permet, en revanche, d'entreprendre en outre des opérations de plus grande envergure.

En fait, dans les derniers temps avant la guerre,

les grandes puissances maritimes n'ont pour ainsi dire pas construit de sous-marins défensifs ; elles possédaient un assez grand nombre de sous-marins anciens, démodés à cause de leur faible vitesse et de leur distance franchissable insuffisante, qui pouvaient encore remplir avantageusement ce rôle de défensifs. Autrefois, il n'en a pas été de même, et les vingt sous-marins type *Naïade,* construits en France, peuvent être donnés comme un bon exemple de ce type de navire.

Au contraire, chez les petites puissances comme la Suède, la Norvège, le Danemark, la Hollande, qui s'interdisent *a priori* toute action offensive, la flotte sous-marine tout entière est constituée par des bâtiments qui ont juste le rayon d'action suffisant pour patrouiller le long des côtes sans s'éloigner beaucoup de la limite des eaux territoriales.

SOUS-MARINS OFFENSIFS

Dès l'apparition du sous-marin à double moteur, l'accroissement de distance franchissable ainsi obtenu permit d'envisager une extension du rôle des sous-marins et éveilla des idées d'offensive. On peut le rappeler à présent que cela est devenu presque de l'histoire : le programme du premier submersible, du *Narval,* si modeste qu'il nous paraisse à nous qui avons vu des sous-marins franchir l'Atlantique, était cependant déjà un programme offensif. Il s'agissait, pour le nouveau bâtiment, de quitter à la nuit tombante le port de Cherbourg, de faire route à petite vitesse pendant toute la nuit pour traverser la Manche (60 milles marins environ de largeur en ce point), de manière à

se trouver au petit jour à l'entrée de la rade de Spithead; là, de pénétrer dans la rade même, en plongée, d'y torpiller le plus grand nombre possible de bâtiments ennemis devant le port de Portsmouth (Les Anglais nous pardonneront ce souvenir; à cette époque, à la veille de Fachoda, il n'était pas encore question d'entente cordiale); puis, cette besogne accomplie, et en étant resté immergé jusqu'au coucher du soleil, de sortir de la rade et de revenir en surface, une fois la nuit venue, pour rentrer ainsi à Cherbourg.

Par la suite, les vitesses des sous-marins se sont accrues très notablement, leur approvisionnement de combustible a été fortement augmenté et l'on a pu compléter ce programme initial en envisageant, non seulement des opérations consistant à porter la guerre sur n'importe quel point des côtes ennemies, fût-il éloigné de plusieurs milliers de milles, mais même d'entreprendre, avec les sous-marins seuls, le blocus d'un port ou d'une rade ennemie, le barrage d'un détroit.

On remarquera que, dans les opérations ci-dessus, le sous-marin agit seul; tout au plus peut-il être convoyé par quelques bâtiments rapides, croiseurs légers ou contre-torpilleurs. Il résulte de ce fait que le sous-marin est maître de sa vitesse et peut choisir l'allure qui est la plus avantageuse. Les qualités à demander à ce type de navire sont donc avant tout un grand rayon d'action, de l'endurance, ce qui exige un tonnage assez fort.

Il faut également que sa batterie d'accumulateurs ait une capacité largement suffisante pour lui permettre de rester en plongée pendant toute la durée du jour, c'est-à-dire jusqu'à 18 et 20 heures, dans nos latitudes au moment du solstice d'été. Mais en

revanche, une grande vitesse en surface n'est pas nécessaire ; c'est un luxe superflu.

La recherche des grandes vitesses en surface se justifiait par d'autres visées. S'il s'agit, non plus d'opérations exécutées par les sous-marins seuls, mais d'actions en liaison avec d'autres forces navales, en un mot, si l'on veut faire coopérer le sous-marin à la bataille navale, il devient indispensable qu'il puisse accompagner les escadres, tout comme les torpilleurs d'escadre, dont la nuée suit nos lourds mastodontes dans tous leurs déplacements. On en arrive ainsi à la conception du sous-marin d'escadre qui différera du simple sous-marin offensif ou de haute mer, précisément par sa vitesse en surface.

Faire accompagner des escadres par des sous-marins qui ne peuvent pas filer plus de 10 à 12 nœuds, le bénéfice ne serait pas grand, puisque les cuirassés seraient obligés de réduire leur vitesse pour ne pas semer en route leurs petits auxiliaires. L'escadre y perdrait la liberté de ses mouvements et serait, au total, plus gênée qu'aidée par la présence des sous-marins.

Il est donc indispensable que le sous-marin d'escadre ait la même vitesse que les cuirassés qu'il doit accompagner. On n'est pas encore arrivé tout à fait à réaliser le type parfait de ce genre de bâtiment. Néanmoins, on a pu, en choisissant les plus grosses de ces unités et les plus rapides, les adjoindre à des forces navales, et les sous-marins ont joué leur rôle dans les batailles navales, notamment dans la bataille du Jutland, et le nombre de bâtiments de haut bord qu'ils ont coulés est là pour attester leur efficacité.

Il est donc permis de penser qu'à l'avenir, tout

en continuant à construire à la fois de petits sous-marins pour la défense des côtes et de gros sous-marins de haute mer destinés à opérer isolément, toutes les grandes puissances navales s'efforceront de résoudre complètement le problème du sous-marin d'escadre ; et il ne fait pas de doute que l'on réussisse enfin à doter ces bâtiments de la vitesse nécessaire, grâce au progrès des moteurs à pétrole. Ce nouveau type de sous-marins deviendra l'accompagnement obligatoire des escadres cuirassées, au même titre que les croiseurs légers et torpilleurs actuels.

SOUS-MARINS MOUILLEURS DE MINES

C'est peu d'années avant 1914 que la conception du sous-marin mouilleur de mines a pris naissance. A vrai dire, on pourrait considérer les premiers sous-marins, ceux qui sont antérieurs à l'invention de la torpille automobile, comme des mouilleurs de mines, puisqu'ils étaient destinés à porter et à aller déposer une charge explosive dans le voisinage des bâtiments ennemis.

Mais dès l'invention de Whitehead, cette idée avait été abandonnée et, lorsqu'elle réapparaît, presque un demi-siècle plus tard, il convient, en bonne justice, de la considérer comme une idée nouvelle. C'est d'ailleurs dans un brevet de la célèbre firme de Fiume qu'on la retrouve pour la première fois.

Cette utilisation du sous-marin était évidemment très séduisante. Le mouillage des mines par des bâtiments de surface présente en effet deux inconvénients : d'abord le danger même que court le bâtiment mouilleur s'il opère dans les eaux enne-

mies; ensuite, même s'il parvient à s'échapper, s'il a été vu, l'ennemi est averti du danger et il lui est relativement facile, par des dragages répétés, de se débarrasser des indésirables engins qui ont été déposés près de ses côtes. Avec le sous-marin, on réalise le mouillage discret des mines; leur efficacité se trouve donc accrue de ce que leur présence reste ignorée jusqu'à ce qu'un navire les heurte et en sautant vienne révéler leur existence.

C'est pourquoi, en très peu de temps, les diverses marines et les chantiers de constructions navales se sont mis à étudier la question, et le grand nombre de brevets déposés un peu partout, ayant pour objet l'adaptation du sous-marin au mouillage des mines, montre la variété des solutions qui ont été proposées.

Nous ne parlerons pas de celles qui ont été adoptées, soit en France, soit chez nos alliés; mais nous pouvons donner quelques indications sur les sous-marins mouilleurs de mines construits par les Allemands. Les nombreux accidents, qui ont amené en quelque sorte automatiquement la destruction de plusieurs de ces bâtiments, ont fourni les moyens d'une ample documentation.

Ce sont d'assez petits sous-marins, entièrement spécialisés, c'est-à-dire qu'il sont exclusivement destinés à mouiller des mines et que l'on a délibérément, pour leur permettre de remplir ce rôle, sacrifié toutes leurs autres qualités. Ils ont peu de flottabilité et tiennent mal la mer; une vitesse très faible en surface, et encore moindre en plongée; ils sont munis de moteurs très peu puissants et ont une batterie d'accumulateurs très réduite. Les logements et accommodations pour l'équipage sont plus que sommaires. La plus grande partie du

sous-marin est occupée par les mines qui sont logées dans des sortes de puits qui traversent complètement la coque. Pour mouiller la mine, un mécanisme de déclenchement la libère et elle tombe automatiquement par son poids. Naturellement, des dispositifs de sécurité sont disposés pour empêcher, dans ce mouvement, la mine d'exploser prématurément. Il faut croire que la sécurité procurée pour ces appareils est très relative, car, ainsi que nous l'avons dit, plusieurs de ces sous-marins se sont fait sauter en mouillant leurs mines.

Quoi qu'il en soit, cette manière d'utiliser les sous-marins répond à une nécessité certaine. La manière d'opérer des sous-marins mouilleurs de mines diffère cependant de celle des bâtiments de surface. Ces derniers, en général, mouillent soit des lignes de mines, régulièrement espacées, soit des champs de mines; c'est-à-dire qu'ils couvrent de ces engins une zone déterminée. Cette manière de faire exige que le bâtiment porte des centaines de mines. Or, l'approvisionnement des sous-marins mouilleurs de mines est forcément beaucoup plus restreint; le type allemand n'en possède même guère plus d'une douzaine. Dans ces conditions, pour établir un véritable barrage, le sous-marin devrait s'y reprendre à plusieurs fois, ou bien il faudrait disposer d'un nombre très considérable de mouilleurs de mines.

Même ainsi, il y aurait un danger très grand à opérer de la sorte, car le sous-marin, en plongée, ne peut pas repérer sa route avec autant de précision qu'un bâtiment de surface, et il courrait les plus grands risques de se faire sauter sur les mines qu'il aurait déposées précédemment.

Aussi la tactique des sous-marins mouilleurs de

mines, imposée d'ailleurs par la nécessité, consiste-t-elle à mouiller soit des mines isolées, soit des groupes de quelques mines peu nombreuses. Cette dispersion, à condition qu'elle soit faite avec discernement, dans les endroits de passage les plus fréquentés, accroît, en somme, la probabilité, pour les mines, d'être rencontrées. En outre, le sous-marin ayant toute facilité pour se dissimuler peut avoir intérêt à revenir plusieurs jours de suite dans les mêmes parages, pour y mouiller deux ou trois mines. Si, dans l'intervalle, on a opéré des dragages et déblayé la passe, on s'imagine avoir toute sécurité, et l'on retrouve des mines à l'endroit même où l'on avait dragué la veille ou l'avant-veille. C'est une observation qu'il ne faut pas perdre de vue, dans ces opérations : la sécurité obtenue ainsi est de peu de durée ; il est indispensable de draguer et de redraguer sans cesse.

LA GUERRE DE COURSE ET LES SOUS-MARINS LE SOUS-MARIN COMMERCIAL

A ces manières, en quelque sorte classiques, d'utiliser les sous-marins, les Allemands en ont ajouté une quatrième qui, à vrai dire, n'était pas complètement inconnue avant eux, mais qu'ils ont développée avec un mépris du droit des gens et des lois de l'humanité qu'on n'aurait pas osé prévoir. Se servir du sous-marin, qui peut passer inaperçu à peu près partout, pour arrêter les bâtiments qui font commerce avec l'ennemi, puis disparaître sous les flots, pour leur demander la sécu-

rité, aussitôt qu'un bâtiment armé est en vue, c'est de bonne guerre. Mais, pour une marine puissante, qui a la maîtrise de la mer par le moyen de ses forces navales de surface, cette utilisation des sous-marins n'apparaît que comme accessoire. Il faut le répéter bien haut, les résultats de la campagne sous-marine allemande ne sont pas en eux-mêmes considérables, malgré tout l'effort industriel colossal que la préparation de cette campagne a exigé des arsenaux et des constructeurs prussiens. Le succès de cette campagne, pour employer l'expression dont aiment à se servir les gazettes d'outre-Rhin, est plutôt un succès d'intimidation, nous ne voudrions pas dire de terrorisation, car nous nous attirerions, avec juste raison, les véhémentes protestations des marins de toutes les nations alliées. Et cet effet d'intimidation est produit moins par les sous-marins eux-mêmes que par l'absence de scrupules avec laquelle ils agissent; le mépris dans lequel l'Allemagne tient les nations faibles et leurs droits à l'existence lui permet d'exercer ses ravages contre les neutres. La situation, si elle n'était pas si tragique pour ces petits peuples incapables de résister, pourrait être comparée à cette fameuse altercation entre deux cochers, qui ne trouvent pas d'autre moyen pour vider leur querelle que de tomber chacun respectivement, à grands coups de fouet, sur le « bourgeois de l'autre ».

L'Allemagne se venge sur les neutres de ce qu'elle n'a pas réussi au bout de près de trois années de guerre à écraser sur terre les armées de l'Entente et de ce que toutes les tentatives de sa flotte de haute mer pour briser le blocus anglais ont été vaines. Et les neutres, dans leur impuissance, sont

obligés de supporter tous ces attentats, sans élever d'autres protestations que de timides réclamations diplomatiques. Malheur aux faibles! Mais il est clair qu'une grande puissance neutre ne pouvait conserver indéfiniment cette attitude passive ; et c'est ce qui explique les décisions prises par le président Wilson, appuyé par la quasi-unanimité de ses compatriotes. Il semble donc bien que la guerre sous-marine, telle que les Allemands ont décidé de la pratiquer, n'est que l'expédient désespéré d'un peuple aux abois et fou de rage.

Quos vult perdere Jupiter dementat.

Dans ces conditions, elle apparaît, au point de vue naval, comme une conception médiocre, et au point de vue politique, comme une faute, pis que cela, comme une gaffe, dirons-nous, pour employer un terme maritime.

Pratiquée, au contraire, dans les limites que lui assignent le droit des gens et les lois de l'humanité, la guerre commerciale au moyen des sous-marins peut rendre quelques services, elle n'aura jamais une importance capitale pour une puissance navale vraiment forte.

Les fameux sous-marins commerciaux, le *Deutschland* et le problématique *Bremen*, dérivent encore du même état d'esprit, de ce désir de frapper les imaginations, de bluffer enfin. Techniquement, un bâtiment de ce genre ne peut pas se concevoir. Pour qu'il mérite son nom, il faut qu'il rapporte un bénéfice à son armateur, et, au prix où sont les sous-marins, avec leur machinerie environ dix fois plus coûteuse que celle d'un cargo, pour qu'un voyage fût rémunérateur, il serait nécessaire que

le sous-marin emportât un poids de marchandise supérieur à son déplacement total. Or, le sous-marin est précisément, de tous les bâtiments, celui où la charge utile qu'on peut embarquer est la plus réduite.

En effet, le sous-marin doit porter un double moteur, pour la surface et pour la plongée ; les accumulateurs électriques sont d'un poids considérable ; il doit être muni d'accessoires de toutes sortes qui n'existent pas sur un bâtiment de surface ; sa coque même, calculée pour résister aux pressions de l'eau, est beaucoup plus lourde. Si l'on fait le total de tous ces poids, même dans l'hypothèse d'un bateau construit spécialement, on s'aperçoit qu'il ne reste plus grand'chose de disponible pour le chargement. Il y a cependant une catégorie de marchandises que l'on peut transporter en quantités un peu notables : ce sont celles qui supportent sans inconvénient le contact de l'eau de mer ; on peut alors, pour la traversée, les loger dans l'intérieur des ballasts. Mais dans ce cas on diminue la flottabilité du sous-marin, c'est-à-dire que l'on sacrifie sa tenue à la mer, et par mauvais temps cela peut être dangereux.

Quoi qu'il en soit, si les Allemands ont compté sérieusement sur le ravitaillement par sous-marins, qu'ils fassent un petit calcul bien simple, et ils se rendront compte que la quantité de vivres rapportée à chaque traversée par un *Deutschland,* distribuée à leur population de plus de 100 millions d'habitants, assure sa nourriture pendant... quelques minutes !

Laissant de côté ces plaisanteries vraiment trop faciles, il n'est même pas prouvé que, pour le transport de matières rares (produits pharmaceutiques, nickel), dont les Empires centraux sont

presque totalement démunis, le *Deutschland* ait apporté un secours appréciable. La meilleure preuve en est que ce bâtiment, après deux voyages sensationnels, paraît avoir été désaffecté et utilisé comme navire ravitailleur de pétrole pour les sous-marins de guerre. A la bonne heure, ils se sont enfin décidés à mettre bas le masque. Toutes leurs réclames, les services postaux, leurs sociétés anonymes pour les transports commerciaux sous-marins, ce n'était qu'une comédie.

DE QUELQUES EMPLOIS IMPRÉVUS DES SOUS-MARINS

Il est incontestable que l'usage des sous-marins a amené des modifications assez importantes dans la guerre navale. La présence de cet ennemi invisible a obligé les escadres de haut bord à beaucoup plus de prudence ; il ne faut pas risquer inutilement la vie d'un équipage de plus de 1.000 hommes, sans compter la valeur du cuirassé qui dépasse 60 millions de francs. Les navires de premier rang étant obligés de se mettre à l'abri et ne prenant la mer que rarement, il a bien fallu, malgré tout, tenir la mer ; on a assisté à ce phénomène inattendu : un regain de faveur pour tous les bâtiments secondaires, croiseurs légers, avisos, canonnières, vieux bâtiments démodés, bref, pour tous ces navires que l'on classait, dans les annuaires navals, en queue de liste avec la mention méprisante : sans valeur militaire.

C'est précisément parce qu'ils n'avaient pas de valeur militaire qu'on les recherchait : c'étaient

les seuls bateaux qu'on pouvait hasarder sur mer, avec la certitude que leur perte ne diminuerait en rien la puissance militaire de la flotte. Et c'est pourquoi l'on a pu entendre cette réflexion : que n'avons-nous pas conservé tels bateaux qui ont été condamnés et rayés de la liste de la flotte !

Et c'est ainsi que beaucoup de ces vieux rossignols, de ces vieux rafiaux, comme disent les matelots, qui croupissaient dans les coins les plus reculés des arsenaux, et qui pensaient bien n'en sortir que pour aller à la ferraille, ont repris la mer grâce à cette guerre et, au lieu de s'en aller prosaïquement, morceau par morceau, sous le marteau des démolisseurs, ont vu le feu et ont eu une fin glorieuse.

Malgré ce rappel de la vieille garde à l'activité, le nombre des bâtiments nécessaire pour exercer la police des mers aurait pu être insuffisant : avec les sous-marins, les mines, les pertes sont nombreuses. On a donc été tout naturellement amené à utiliser le sous-marin pour des tâches en vue desquelles il n'avait nullement été construit. Ici, ce n'était pas son invisibilité qui était précieuse, mais bien son invulnérabilité, c'est-à-dire sa faculté de se dérober prestement à l'ennemi par la plongée.

C'est ainsi que dans certains cas on a fait jouer à des sous-marins les rôles d'éclaireur, d'arraisonneur jusqu'alors dévolus soit à des croiseurs, soit à des contre-torpilleurs. En principe, les sous-marins sont mal disposés pour ce genre d'opérations ; néanmoins, l'artillerie dont on les a munis rendait leur utilisation possible, et les plus gros submersibles français, grâce à leur forte flottabilité, leur remarquable tenue à la mer, ont pu s'en acquitter d'une manière très satisfaisante.

C'est ainsi que le danger créé par le sous-marin a contribué, par une sorte de contre-coup, à développer l'emploi du sous-marin lui-même et à lui trouver des utilisations aussi nouvelles qu'imprévues.

CHAPITRE IV

LES MOTEURS DES SOUS-MARINS

On sait que, dans un aéroplane, le moteur à lui seul représente plus de la moitié de la valeur de l'engin. Bien que les moteurs de sous-marins aussi soient très chers, leur prix est loin d'atteindre une fraction aussi considérable du prix total du bâtiment; mais leur importance reste capitale.

Il s'agit, bien entendu, du moteur de surface, car la dynamo électrique qui conduit l'hélice en plongée est une machine parfaitement étudiée depuis plusieurs années et dont le fonctionnement est des plus sûrs. Sa mise en marche est des plus simples; il suffit de tourner le volant du rhéostat ou de l'appareil de démarrage plus complexe désigné sous le nom de controller. C'est celui que tout le monde a pu voir sur la plate-forme des tramways électriques, et chacun a pu constater que c'est un outil robuste que l'on peut manier sans trop de ménagements. Les moteurs électriques de sous-marins, à part leur puissance assez élevée, n'ont donc rien de bien spécial. Tout au plus peut-on noter que l'humidité qui règne à bord et qui est produite par la condensation de l'haleine de l'équi-

page est l'ennemie des bons isolements ; on est donc obligé, dans la confection des moteurs électriques des sous-marins, aussi bien les moteurs de propulsion que ceux qui conduisent les divers appareils auxiliaires, ventilateurs, pompes, treuils, compresseurs d'air, etc., d'apporter un soin particulier dans le choix des matières isolantes et de proscrire notamment toutes celles qui sont hygrométriques.

Le seul point faible dans la propulsion électrique, ce sont les accumulateurs ; malgré les progrès réalisés dans leur confection, peut-être même à cause de ces progrès, ce sont des engins assez fragiles, assez délicats, qui doivent être traités avec ménagements, et dont l'usure est assez rapide. Aussi, un sous-marin, au cours de son existence, use-t-il plusieurs batteries d'accumulateurs, tout comme une machine à vapeur dure assez longtemps pour user plusieurs jeux de chaudières.

La recherche d'un bon moteur de surface était un problème bien autrement difficile, et même maintenant on ne peut considérer le problème que comme partiellement résolu.

Les qualités à réaliser sont multiples : il faut, avant tout, un moteur peu encombrant, car il y a peu de place à bord des sous-marins ; il est bon que ce moteur ne soit pas trop lourd, qu'il soit aussi économique que possible ; il faut aussi qu'il puisse être mis en marche facilement et rapidement. Enfin, pour pouvoir plonger sans délai, il est indispensable que le moteur puisse être arrêté presque instantanément. Toutes ces conditions principales sont difficiles à réunir dans un même appareil, et il y en a d'autres accessoires, qui ne sont pas à négliger : une marche silencieuse pour ne

pas trahir sa présence la nuit, pas de panache de fumée, pour ne pas être aperçu de jour.

Les premiers sous-marins mixtes ont reçu des moteurs à explosion, analogues à ceux des automobiles, mais de dimensions plus fortes. Tels sont chez nous les vingt sous-marins type *Naïade*. L'appareil était léger, peu encombrant, suffisamment robuste : mais il consommait de l'essence, combustible très volatil et excessivement inflammable. La présence, à bord, d'une matière presque incendiaire, constituait un grave danger ; les explosions et incendies qui se sont produits, sinon en France, du moins à l'étranger, ont montré bien vite qu'il fallait renoncer à cette solution, pourtant si séduisante par ailleurs. Aussi les moteurs à essence ont-ils disparu assez vite des sous-marins, et partout on a proscrit les combustibles trop inflammables.

La question en était à ce point à l'époque où Laubeuf construisit le *Narval;* le succès de ce premier submersible a tenu, dans une certaine mesure, à l'adoption de la vapeur pour la propulsion en surface.

Cette solution n'était possible qu'à la condition de brûler du pétrole dans la chaudière ; seule la chauffe au moyen d'un combustible liquide permettait l'extinction instantanée des feux, sans laisser, comme avec le charbon, des braises rouges sur la grille, qui auraient dégagé, en plongée, des quantités d'oxyde de carbone.

L'emploi de la vapeur, avec le panache de fumée de la cheminée à peu près inévitable, avec la lenteur du rallumage et surtout de la remontée en pression après la plongée, présentait bien quelques inconvénients. Mais, en revanche, cette solution,

déjà tout étudiée, offrait de précieux avantages : le combustible employé — les résidus de pétrole — était de toute sécurité au point de vue de l'inflammabilité ; il ne présentait pas plus de danger que l'huile. La construction des machines à vapeur, étudiée depuis longtemps, pouvait se faire sans difficultés ; les équipages, familiarisés depuis des années avec ces appareils, n'avaient besoin d'aucun apprentissage pour leur conduite. Enfin ces moteurs à vapeur étaient d'un fonctionnement très sûr. Bref, c'était, tout bien pesé, une excellente solution d'attente, et c'est grâce à elle que la France a eu, dès 1906-1907, sa belle flottille des dix-huit sous-marins type *Pluviôse*, alors que l'étranger ne pouvait rien lui opposer d'équivalent.

Hors de France, la vapeur n'a pas été employée, et lorsque les dangers de la gazoline eurent fait abandonner les moteurs à essence, on chercha à utiliser des moteurs analogues, c'est-à-dire à explosion, avec allumage, mais brûlant un combustible moins inflammable, comme par exemple le pétrole lampant ou le pétrole brut.

Plusieurs types de ces moteurs existaient déjà et étaient employés à terre, notamment dans les exploitations agricoles. Appliqués aux sous-marins ils n'ont pas donné une entière satisfaction. Tout d'abord, ils ne peuvent pas être mis en marche à froid avec le pétrole lourd : le départ doit être fait à l'essence, et c'est seulement lorsque le moteur a tourné quelques minutes avec l'essence et s'est suffisamment réchauffé qu'on peut alimenter au pétrole lourd.

D'autre part, dès qu'on atteint des puissances un peu notables, le fonctionnement laisse à désirer ; il se produit des encrassements des soupapes, des

bougies d'allumage. On a essayé de tourner la difficulté en groupant dans une même machine un grand nombre de cylindres moteurs, chacun ayant individuellement une puissance modérée; on a vu ainsi des sous-marins posséder jusqu'à trente-deux cylindres moteurs; mais c'était tourner la difficulté et non la résoudre, car les appareils comprenant un aussi grand nombre d'organes étaient très compliqués et sujets à des avaries fréquentes. Au total, les moteurs à explosion consommant du pétrole lampant manquaient de la qualité essentielle : l'endurance.

C'est pourquoi les diverses marines se lancèrent dans l'emploi du moteur à combustion, ou moteur Diesel. Dans ces appareils, le combustible et l'air ne sont plus mélangés à l'avance pour former un mélange tonnant; l'air est comprimé seul dans le cylindre, à une pression très élevée, et cette compression suffit à l'échauffer assez pour atteindre le point d'inflammation du combustible; à ce moment, le pétrole, lui-même sous pression, est injecté dans le cylindre et s'enflamme spontanément et brûle, mais sans faire explosion. On conçoit que l'emploi de ces compressions élevées nécessite des organes exceptionnellement robustes; par suite, ce type de moteur sera très lourd.

En revanche, l'expérience a montré qu'il possédait un certain nombre d'avantages, uniques, et particulièrement précieux pour un sous-marin.

Le moteur à combustion s'accommode de n'importe quel combustible liquide, il peut brûler aussi bien de l'huile de schiste que du pétrole lampant, du pétrole brut, que des résidus de pétrole, ou même des huiles de houille.

Les gaz d'échappement, quand le moteur est

bien réglé, sont absolument incolores et invisibles. Enfin, de tous les moteurs thermiques connus, c'est de beaucoup celui qui est le plus économique.

En chiffres ronds, le moteur à combustion consomme, par cheval-heure effectif, la moitié de ce que consommerait un moteur à explosion et le tiers de ce que consommerait une machine à vapeur.

Ces divers avantages, le dernier surtout, expliquent pourquoi, peu à peu, le moteur Diesel a rallié tous les suffrages et a été adopté pour les sous-marins par toutes les marines.

Il a d'ailleurs été largement perfectionné depuis ces dix dernières années ; on a même réussi, dans une certaine mesure, à atténuer son défaut initial : sa lourdeur. Alors que les premiers moteurs Diesel pesaient 150 à 200-kilos par cheval, on est arrivé progressivement à abaisser ce poids à 40 et même à 30 kilos pour les moteurs à allure rapide. Dans cette voie, un gros allégement a été obtenu par la substitution du cycle à 2 temps au cycle à 4 temps. Dans le cycle à 4 temps, qui est celui de moteurs d'automobiles, il n'y a qu'une course motrice, qu'une seule impulsion du piston tous les deux tours. Dans le cycle à 2 temps, au contraire, il y a une impulsion motrice à chaque tour. Le moteur y gagne en régularité de mouvement, et, en outre, comme on produit dans un même cylindre deux fois plus de travail, le moteur devient moins encombrant et moins lourd. C'est ainsi que l'on a pu abaisser, sur les moteurs à 2 temps, le poids par cheval à 25 et même 22 kilos, tous accessoires compris.

Cette diminution d'encombrement et cet allégement du moteur ont permis d'accroître sensiblement la vitesse en surface des sous-marins.

Mais ce gain semble avoir été acheté au détriment de certaines qualités du moteur à 4 temps. En effet, les moteurs à 2 temps ont une consommation sensiblement plus élevée que celle des moteurs à 4 temps. D'autre part, leur réglage est plus délicat, leur fonctionnement moins bien assuré, et, comme on pouvait s'y attendre, la légèreté ainsi obtenue a nui à la robustesse et à l'endurance. C'est pourquoi l'ancien moteur à 4 temps conserve ses partisans, et peut-être ceux-ci n'ont-ils pas tort. La sagesse semble en effet conseiller de ne pas rechercher de trop grandes vitesses, puisqu'elles ne peuvent être obtenues qu'au prix d'une moindre endurance, et de s'en tenir au moteur lourd à 4 temps.

C'est ce qu'ont fait les Anglais sur tous leurs sous-marins ; c'est ce qu'a fait l'Allemagne pour l'énorme majorité de ses submersibles, réservant le moteur à 2 temps pour quelques sous-marins très gros et très rapides, qu'elle possède en petit nombre. Il semble bien d'ailleurs que l'Allemagne n'a pas été très satisfaite de ces moteurs légers à 2 temps, et qu'à la suite d'avaries trop répétées, elle est revenue au cycle à 4 temps.

De toutes façons, le moteur Diesel ne paraît pas, au moins à l'heure actuelle, se prêter à la réalisation pratique des très grandes puissances, nous voulons dire des puissances dépassant 1.000 chevaux par moteur. Si donc on envisage encore la construction de ces sous-marins très gros et très rapides, que nous avons qualifiés de croiseurs sous-marins, il paraît peu prudent de les munir de moteurs Diesel, et il vaut encore mieux, pour ce type de bâtiment, recourir à l'emploi de la vapeur ; c'est le seul moyen d'aboutir sûrement.

CHAPITRE V

EXPLOSIFS ET ARMES UTILISÉS PAR LES SOUS-MARINS

Il était naturel que le sous-marin emploie des armes sous-marines; aussi, dès le début, les inventeurs ont-ils imaginé de faire porter au bâtiment des charges explosives pour les déposer soit contre les coques, soit dans le voisinage des coques ennemies. L'effet destructeur d'une charge donnée est beaucoup plus considérable lorsque l'explosion se produit sous l'eau, que lorsqu'elle a lieu à l'air libre; la chose se conçoit aisément : la masse d'eau forme bourrage. Mais ce procédé d'attaque, qui était analogue aux torpilles portées des premiers torpilleurs, était peu pratique. Il fallut l'invention de la torpille automobile, pour que le sous-marin devînt vraiment redoutable.

La torpille automobile, due à l'Anglais Whitehead, est une sorte de petit sous-marin en réduction, sans équipage, et mû par l'air comprimé. C'est un véritable chef-d'œuvre de mécanique qui a été porté progressivement au plus haut degré de perfection. Le corps de la torpille a, comme les

sous-marins, la forme d'un cigare, plus pointu à l'arrière et renflé à l'extrémité avant où se trouvent la charge de poudre et son détonateur. Toute la région du milieu est occupée par le réservoir en acier embouti, dans lequel on emmagasine de l'air comprimé jusqu'à la pression de 180 atmosphères. Sur l'arrière du réservoir se trouve le moteur à air comprimé, très ramassé, très tassé, et qui, malgré ses dimensions restreintes, arrive à développer plus de 100 chevaux. Cette puissance énorme, appliquée à un engin aussi petit, lui imprime, sinon une vitesse de projectile, de moins une vitesse très notablement supérieure à celle des bâtiments les plus rapides. Certaines torpilles récentes filent plus de 50 nœuds pendant les mille premiers mètres de leur trajectoire.

La torpille automobile comporte, en outre, de très nombreux mécanismes de réglage dont le but est d'assurer la rectitude de sa trajectoire, aussi bien en profondeur qu'en direction, et de régler son immersion à une valeur convenable, pour que la torpille vienne frapper les coques au point le plus vulnérable. Ces mécanismes, aussi ingénieux que compliqués, utilisent les appareils de physique connus sous le nom de piston hydrostatique, pendule et gyroscope. L'utilité de ces appareils, et tout particulièrement celle du gyroscope, qui n'est qu'une application des théories de Foucault, s'est accrue depuis que les portées des torpilles elles-mêmes ont augmenté. Une trajectoire un peu sinueuse ou légèrement courbe n'entraîne, en effet, qu'un écart insignifiant au but, si celui-ci est à 400 ou 500 mètres. Si la distance est plus considérable et atteint 1.000, 2.000, 3.000 mètres, ces écarts se trouvent amplifiés énormément, et la

moindre déviation initiale fait passer la torpille très loin du but. Or, les portées des torpilles ont reçu un accroissement considérable, dans ces dernières années, grâce au progrès de la métallurgie, qui a fourni pour les réservoirs d'air comprimé des aciers plus résistants, et grâce également à une meilleure utilisation de cet air comprimé dans des moteurs perfectionnés.

Cette augmentation de rendement a été obtenue, comme dans les tramways à air comprimé, par le réchauffage préalable de l'air comprimé. Aussi, alors que les premières torpilles était à bout de course lorsqu'elles avaient franchi 1.000 ou 1.200 mètres au maximum, on en construit couramment maintenant qui peuvent parcourir 5.000 à 6.000 mètres, et on envisage même des portées de 10.000 mètres.

Ces grandes portées ne sont d'ailleurs pas utilisées sur les sous-marins ; à ces grandes distances le tir devient très incertain, et on serait exposé à gaspiller sans effet les torpilles. Un sous-marin qui ne porte qu'un nombre limité de ces précieux engins (une torpille de gros modèle vaut plus de 15.000 francs : elle peut détruire, il est vrai, un cuirassé de 75 millions, c'est-à-dire représentant 5.000 fois sa valeur) doit forcément en être économe ; il devra donc les lancer d'aussi près que possible, et, comme il est protégé à la fois par son invisibilité et par la couche d'eau qui le recouvre, il pourra généralement se rapprocher beaucoup du but sans courir de danger.

La torpille automobile ne doit pas seulement être construite, comme tous les projectiles, avec la plus haute précision, il faut en outre, en raison de la multiplicité et de la complexité de ses méca

nismes, qu'elle soit entretenue dans un état parfait de conservation : elle exige, pour cela, des soins minutieux. C'est, comme nous l'avons fait remarquer, un sous-marin complet avec son moteur, ses réservoirs, ses hélices, ses gouvernails de plongée et de direction; chacune de ces pièces doit être maintenue parfaitement graissée, ce qui entraîne de fréquents démontages, et, après chaque démontage, un réglage d'ensemble des mécanismes est indispensable. Une torpille mal réglée perd en effet de sa valeur comme arme, et peut même devenir dangereuse pour le bâtiment qui la lance. Les défauts de réglage, en ce qui concerne l'immersion, se traduisent par une marche désordonnée de l'engin qui fait une série de bonds, rappelant ceux des marsouins, remontant en surface (affleurement), puis plongeant profondément, pour venir l'instant d'après de nouveau à fleur d'eau. Parfois, dès le départ, la torpille pique du nez et se perd au fond de la mer. Plus dangereux sont les dérèglages en direction (gyroscope) : la trajectoire n'est plus droite, mais recourbée, parfois brisée (trajectoire en baïonnette); on a même vu, dans des exercices, des torpilles décrire un cercle de rayon assez faible pour qu'il se ferme en revenant passer au point de départ.

La charge de poudre des torpilles, dont le poids dépasse 100 kilos, est constituée généralement par du fulmicoton. Cet explosif a le double avantage d'une puissance destructive très élevée et d'une conservation facile. Le coton-poudre, en effet, à condition d'être gardé avec un certain degré d'humidité, ne s'altère pas et peut être manipulé sans danger. La présence de quelques pour-cent d'eau ne diminue pas sensiblement sa force explosive.

On a essayé aussi de substituer au fulmicoton la mélinite, qui donne la même sécurité et qui est plus dense. Les Allemands emploient une substance analogue, c'est-à-dire encore un dérivé nitré du goudron, appelé tolite ou trinitrotoluol. Les effets de la tolite, d'après des expériences effectuées en France, se seraient montrés peut-être un peu plus énergiques que ceux du fulmicoton, mais la différence est peu considérable.

APPAREILS LANCE-TORPILLES

Les torpilles sont lancées au moyen d'un tube dans lequel une chasse d'air comprimé ou l'explosion d'une petite charge de poudre projette la torpille en avant. Dans ce mouvement, un levier mobile, placé sur le dos de la torpille, rencontre un butoir fixé sur le tube et est rabattu. Ce levier manœuvre le robinet d'air comprimé, et la torpille se met en marche. On voit donc, à la différence des canons, qu'ici les gaz de la poudre ou l'air comprimé n'interviennent que pour donner à la torpille une légère impulsion initiale; mais c'est l'hélice qui la conduit au but.

Ces tubes sont généralement disposés parallèlement à l'axe du bâtiment et placés presque toujours à l'avant; on en met quelquefois aussi un ou deux à l'arrière pour le cas où le sous-marin n'aurait pas le temps d'évoluer assez vite pour présenter son avant vers le but.

Ces tubes ont un fonctionnement très sûr. Ils permettent en outre de lancer successivement plusieurs torpilles. L'opération du rechargement du

tube est cependant plus compliquée et plus longue que pour un canon. En effet, avant d'ouvrir la culasse, il faut d'abord fermer le capot avant du tube pour l'isoler de la mer et ensuite vidanger l'eau de mer qui le remplit ; ensuite, l'opération qui consiste à enfourner la torpille dans le tube est assez délicate, car il s'agit de manier une masse de plus de 700 kilogs (1) et de 6 mètres de longueur. Les sous-marins possèdent généralement, indépendamment de la torpille placée d'avance dans le tube, deux, trois ou quatre torpilles de réserve à l'intérieur du bâtiment.

L'inconvénient de ces tubes d'axe, et d'une manière générale des tubes fixes, c'est qu'il faut pointer avec le sous-marin lui-même, et, dans certains cas, la durée de l'évolution peut être assez longue pour que l'ennemi échappe. C'est pour abréger cette durée que l'on emploie les tubes tirant sur l'arrière dont nous avons parlé et qu'on a installé aussi des tubes tirant par le travers. Ces derniers appareils ont un tir moins précis que les appareils d'axe ; en effet, la torpille, à la sortie du tube, rencontre des filets d'eau qui, en vertu de la vitesse du sous-marin, lui donnent une impulsion transversale, et il est assez difficile de combattre cette déviation. En outre, ces tubes du travers sont d'un maniement beaucoup plus compliqué.

La France est, avec quelques petites nations étrangères et la Russie, le seul pays où l'on ait fait usage d'appareils lance-torpilles placés à l'extérieur de la coque. L'étranger, avec raison peut-être, est peu favorable à ces appareils, auxquels il reproche

(1) Le poids des torpilles de 533 millimètres de diamètre dépasse même 1.000 kilos.

de laisser en tout temps la torpille exposée à la mer. En revanche, comme on dispose de beaucoup plus de place disponible à l'extérieur, dans les superstructures, qu'à l'intérieur du sous-marin, l'emploi de ces appareils nous a permis de doter nos submersibles, à tonnage égal, d'un armement beaucoup plus puissant que l'étranger. C'est ainsi que nous avons pu placer jusqu'à dix appareils lance-torpilles sur des sous-marins de tonnage modéré, alors qu'à l'étranger on ne paraît pas avoir dépassé le chiffre de six appareils sur les plus gros sous-marins. Les appareils extérieurs ont en outre l'avantage de donner la solution du tir avec pointage variable, dont l'intérêt saute aux yeux.

Ces appareils, que nous ne saurions décrire ici, reposent sur le principe suivant : la torpille, placée à l'extérieur d'un sous-marin en plongée, se trouve d'avance immergée; il devient donc inutile de la lancer; il suffit de la mettre en marche, en ouvrant le robinet d'air comprimé du moteur : les hélices tournent, la torpille file, comme une flèche, dans la direction même où elle se trouvait au moment du départ.

Qu'on imagine donc une torpille retenue par sa queue au moyen d'une charnière qui la laisse libre de pivoter autour d'un axe vertical; si, pendant ce mouvement, un appareil à déclenchement libère simultanément la queue de la torpille et rabat le levier de prise d'air, la torpille partira aussitôt, en conservant sa direction.

On fera varier le pointage, en produisant automatiquement ce déclenchement dans l'azimut que l'on désire.

MINES

Les mines sous-marines peuvent être considérées également comme l'arme de l'une des catégories de sous-marins. Ces mines, en elles-mêmes, ne diffèrent pas des mines ordinaires mouillées par les bâtiments de surface. Mais elles portent quelques dispositifs additionnels nécessités par les conditions particulières de leur mise à l'eau. Notamment, elles ne doivent pas remonter en surface au moment du mouillage, ce qui exige l'emploi de régulateurs d'immersion fondés sur un principe différent de celui des mines ordinaires.

D'autre part, les dispositifs de sécurité destinés à empêcher la mine d'être offensive, c'est-à-dire susceptible d'exploser avant qu'un certain temps se soit écoulé après le mouillage, doivent être spéciaux. La plupart des dispositifs de ce genre, utilisés sur les mines ordinaires, reposent en effet sur l'emploi de cylindres de sels solubles, qui fondent peu à peu dans l'eau de mer. Comme les mines de sous-marins sont en tout temps immergées, il est clair que ce procédé ne saurait être employé ; on y supplée par d'autres appareils variés, sur lesquels chaque nation conserve le secret le plus absolu.

ARTILLERIE DES SOUS-MARINS

Il n'y a pas plus de quatre ou cinq ans que l'on a doté les sous-marins de canons. Ces bâtiments, conçus pour attaquer les cuirassés, ne pouvaient en effet pas tirer grand parti d'une ou deux pièces

d'artillerie de petit calibre. Tout au plus envisageait-on ces petits canons comme une arme défensive, pour le cas où le sous-marin serait surpris en surface par un torpilleur, sans avoir le temps de plonger. De toute façon, le sous-marin ne peut se prêter à l'installation d'une artillerie un peu puissante, soit par le nombre, soit par le calibre des bouches à feu.

Mais l'emploi qu'ont fait les Allemands du sous-marin pour la guerre de course devait forcément élargir le rôle assigné au canon sur les sous-marins.

Actuellement, tous les sous-marins reçoivent une artillerie plus ou moins développée, selon le disponible de poids dont on dispose.

En tout cas, on installe des pièces légères pouvant tirer presque verticalement ; ce sont les canons contre avions, indispensables maintenant que le sous-marin peut rencontrer ce nouvel ennemi pour lequel il n'a plus l'avantage de l'invisibilité.

Des pièces d'un calibre un peu plus fort, et naturellement à tir rapide, sont installées dès que le tonnage du sous-marin le permet, dans le but de pouvoir, non pas couler les bâtiments de commerce comme le font les Allemands, mais les arrêter par un coup de semonce, s'ils n'obéissent pas à la première injonction. Ces pièces servent en outre à combattre les sous-marins ennemis, si l'on arrive à les rencontrer lorsqu'ils sont en surface.

Enfin, dans certains cas, on a employé des pièces atteignant jusqu'à 100^{mm}, pour effectuer de bombardements sur les côtes. De tels bombardements ont surtout un effet moral ; il ne faut pas se dissimuler que leur efficacité matérielle sera toujours assez faible. Déjà le bombardement, par des

bâtiments de surface, est une opération très dispendieuse, et dès qu'on s'attaque non plus à des villes ouvertes, mais à de solides ouvrages de fortification, on est obligé, pour les détruire, de dépenser une quantité de munitions énorme. A plus forte raison le sous-marin, qui a au plus un ou deux canons de petit calibre, avec un approvisionnement de munitions forcément réduit, pourra-t-il difficilement obtenir des résultats appréciables.

Néanmoins, comme il peut, grâce à la plongée, passer là où les bâtiments de surface ne sauraient aller, son emploi pour le bombardement des côtes peut être utile dans des cas très particuliers comme par exemple celui de la mer de Marmara.

CHAPITRE VI

LES MOYENS DE DÉFENSE CONTRE LES SOUS-MARINS

Après la déclaration des Allemands de leur intention de développer la piraterie sous-marine, sans aucun égard pour le droit des gens, sans faire de distinction entre les belligérants et les neutres, on s'est efforcé de rassurer l'opinion publique, trop facilement effarouchée par ce mot de blocus sous-marin, en lui donnant des statistiques.

Les chiffres montrent, en effet, que les pertes éprouvées depuis le début de la guerre par les marines marchandes, du fait des torpillages et des mines, sont très minimes, eu égard au tonnage total de la flotte commerciale; que ces pertes ont été compensées dans une très large mesure par la construction de nouveaux bâtiments, poussée avec activité et stimulée par l'appât du gain que procure la hausse des frets; on en conclut que, si même les Allemands arrivaient à accroître le nombre des bâtiments coulés, s'ils le doublaient, ils seraient encore très loin d'atteindre leur but qui est d'affamer les Alliés. Ces considérations sont parfaitement exactes; mais, présentées seules, elles

ont le tort de laisser croire que les Alliés sont désarmés contre la guerre sous-marine, et que c'est un mal nécessaire, inévitable. Or, il est bon que l'on sache que la lutte contre le sous-marin, pour difficile qu'elle soit, n'en est pas moins possible et peut atteindre une efficacité certaine.

Ces moyens de protection et de lutte sont nombreux; nous nous proposons d'en donner un aperçu succinct.

Il y a, d'abord, les moyens strictement défensifs : il faut que la sécurité des bâtiments de guerre ou de commerce, dans les rades les plus fréquentées, soit entièrement assurée. C'est relativement aisé, par l'emploi d'escadrilles de bâtiments légers qui patrouillent dans les environs du port et, en outre, par les barrages en filets d'acier.

Ces barrages peuvent être installés assez facilement tant qu'il n'y a pas de courants sous-marins trop violents. Les sous-marins les franchissent très difficilement, et surtout ils courent le risque, s'ils ont réussi à percer le filet, de s'empêtrer dans ses mailles, qui s'accrochent à toutes les saillies ou aspérités de la coque, et d'être en quelque sorte pris au piège. Le filet, d'autre part, paraît exercer sur le sous-marin allemand une sorte d'action morale. Avec leur espionnage si développé, il ne fait guère de doute que les Allemands sont informés avec précision de tous les endroits où de tels barrages ont été établis, et, en conséquence, ils les évitent prudemment :

« La crainte du filet est le commencement de la sagesse. »

En fait, je crois qu'on ne pourrait pas citer un seul exemple de sous-marin ennemi ayant tenté de franchir nos barrages; ce sont des prouesses

auxquelles seuls se hasardent les sous-marins alliés.

Les sous-marins, avons-nous dit, emploient aussi comme arme la mine sous-marine. Dans ce cas encore, nous avons indiqué comment on pouvait éviter le danger par des dragages répétés.

Pour assurer la protection des bâtiments en haute mer, d'autres moyens sont nécessaires.

Il y a lieu d'observer que la majeure partie des bâtiments torpillés sont des navires à allure lente ; un bâtiment rapide offre à la torpille une cible beaucoup plus difficile à atteindre et a, par suite, beaucoup plus de chances d'échapper qu'un autre. On pourra donc, dans les cas importants comme celui des transports de troupes, en se servant de navires rapides, leur donner une certaine sécurité qui sera accrue encore si on les fait convoyer par des contre-torpilleurs et si l'on fait usage de la navigation de nuit, tous feux extérieurs éteints.

La sécurité ainsi obtenue n'est pas absolue; néanmoins, c'est par ces procédés, ou des procédés analogues, que l'Angleterre a réussi à transporter sur le continent une armée de plusieurs millions d'hommes, sans aucun incident.

L'armement des bâtiments de commerce est enfin le procédé défensif complémentaire le plus indiqué. C'est à dessein que nous rangeons cet armement parmi les moyens de défense, car personne ne voudra admettre la thèse insoutenable des Allemands que la présence d'un canon sur un bâtiment marchand a un caractère offensif et donne le droit au sous-marin de le traiter comme un bâtiment de guerre. Cet argument a, dans la bouche des Boches, la même valeur que celui du renard affirmant que c'est le lapin qui a commencé.

Ces prétentions allemandes n'ont pour nous que la valeur d'un renseignement; les efforts répétés de leur diplomatie pour persuader les neutres d'interdire l'accès de leurs ports aux navires marchands armés prouvent, en effet, à quel point cet armement les gêne.

La statistique confirme la chose, d'ailleurs: alors que, sur cent navires non armés, une vingtaine à peine réussissent à échapper aux sous-marins, sur cent navires armés, plus des deux tiers s'en tirent indemnes, plusieurs même ont réussi à détruire leur agresseur. C'est donc la preuve directe de l'efficacité de cette mesure qui s'imposait à la suite des attentats allemands.

Mais puisque cet armement des navires de commerce est strictement défensif, c'est-à-dire puisqu'ils ne doivent en faire usage qu'après avoir été attaqués ou menacés, il est nécessaire d'avoir aussi des navires combattant les sous-marins et s'efforçant de leur rendre intenables, sinon les profondeurs de la mer, du moins toute l'étendue de sa surface. Comme le sous-marin ne peut pas rester indéfiniment en plongée, qu'il lui faut absolument revenir en émersion, tant pour renouveler son air respirable que pour recharger ses accumulateurs, on doit pouvoir profiter de ce moment pour atteindre ce gibier insaisissable.

C'est, en somme, ce que font les chasseurs de loutres : ils ne peuvent tirer sur l'animal tant qu'il se dissimule sous l'eau, mais ils attendent patiemment qu'à bout de souffle il remonte à la surface, et, dès que son museau apparaît sur l'eau, un coup de fusil le tue.

Pour agir de même avec les sous-marins, il faut un nombre excessivement considérable de navires

armés, qui sillonnent constamment tous les parages où les sous-marins peuvent fréquenter; il ne faut pas qu'il y ait sur mer des zones un peu étendues non gardées, où le sous-marin pourrait revenir la nuit en surface et recharger ses batteries, tout à loisir, sans être inquiété. Fort heureusement, pour remplir ce rôle de patrouilleur de l'Océan, un très grand nombre de bâtiments peuvent être employés utilement; sans doute, les torpilleurs d'escadre, certains avisos, doués d'une grande vitesse et munis d'une artillerie à tir rapide très nombreuse, constituent-ils le meilleur type de patrouilleurs. Mais ni une grande vitesse ni un armement très puissant ne sont absolument indispensables. La seule condition essentielle est que le bâtiment soit marin, qu'il puisse tenir la mer par tous les temps. Il faut, en effet, que cette surveillance qu'il doit exercer ne s'arrête à aucun instant; il doit veiller de jour comme de nuit, par temps calme comme au milieu de la tempête : tâche très rude pour les équipages et les états-majors, qui sont rapidement exténués au bout de quelques mois de cette existence sans repos.

Mais par ailleurs, un bateau presque quelconque fera l'affaire; d'anciens torpilleurs, des canonnières, voire même de petits bâtiments de commerce ou des navires de pêche à moteur : il suffit de les munir de deux canons et d'un équipage déterminé. A cet égard, les bâtiments de pêche à vapeur, les chalutiers, à part leur vitesse quelquefois un peu faible, sont parmi les meilleurs patrouilleurs. Ce sont des navires robustes, dont les machines, peu puissantes et faites pour être mises entre les mains de gens qui ne sont pas du métier, n'ont pour ainsi dire jamais d'avaries; ils

ont enfin des murailles hautes, surtout à l'avant, qui leur permettent de résister aux coups de mer les plus furieux.

Ces patrouilleurs ont trouvé, d'ailleurs, dans les hydravions et les ballons dirigeables des auxiliaires précieux, et la coopération de ces forces aériennes et navales augmente beaucoup leur efficacité.

Le sous-marin, en effet, n'est invisible en plongée que pour un observateur placé assez près du niveau de l'eau. Dès qu'on s'élève, par exemple dans les hunes d'un mât, la visibilité sous-marine devient meilleure, les rayons visuels commencent à pénétrer au-dessous des flots. Plus haut encore, d'un avion, la mer apparaît presque transparente, et l'œil y découvre tous les objets, même à une assez grande profondeur.

Puisque les navires sont presque aveugles à l'égard du sous-marin, l'hydravion ou le ballon dirigeable sera leur œil ; mais le rôle de l'aviation maritime, dans la lutte contre le sous-marin, ne se borne pas à découvrir l'ennemi invisible et à signaler sa présence. Les hydravions sont des engins offensifs véritables. Ils peuvent porter des bombes spéciales, assez puissantes et réglées de manière à ne faire explosion que lorsqu'elles ont atteint une certaine profondeur dans l'eau. Ces bombes agissent donc comme de petites mines sous-marines ; la commotion qu'elles donnent à l'eau environnante en éclatant est assez forte pour produire des avaries majeures à un sous-marin, même si elles ne se trouvent pas en contact direct avec sa coque. D'ailleurs, nos aviateurs, pour être plus sûrs d'atteindre avec leurs projectiles l'étroite cible que leur offre le sous-marin, n'hésitent pas à redescendre des hauteurs où ils planaient : ils fon-

dent en quelque sorte sur leur proie, comme l'aigle qui a aperçu un mouton dans la plaine, et ils bombardent le sous-marin à courte distance : opération qui exige de la part du pilote beaucoup de sang-froid et plus encore, peut-être, d'adresse, mais qui a été plusieurs fois couronnée d'un plein succès.

Les ballons dirigeables, avec leur masse imposante, ne peuvent évidemment pas se permettre de pareilles acrobaties ; mais en revanche ils ont, sur le plus lourd que l'air, l'avantage de pouvoir ralentir leur vitesse autant qu'ils le désirent ; ont-ils aperçu un sous-marin, ils peuvent le survoler et, après quelques tâtonnements, arriver à régler exactement leur vitesse sur la sienne. Et alors le sous-marin est soumis à un supplice terrible ; il a aperçu l'ennemi aérien, il plonge profondément, évolue, décrit des cercles compliqués, puis, quand il croit avoir dépisté définitivement son adversaire, il revient plus près de la surface et inspecte le ciel avec son périscope : le dirigeable est toujours au-dessus de lui ; il ne l'a pas quitté, comme s'il lui était rattaché par un câble invisible ; et ce petit jeu se poursuit, énervant, affolant l'équipage du sous-marin, jusqu'au moment où le dirigeable, jugeant le moment favorable, laisse tomber ses grenades, avec une précision d'autant plus grande que sa vitesse est plus faible.

Il y a enfin d'autres manières d'attaquer les sous-marins, certains journaux y ont fait allusion ; mais le moment n'est pas encore venu de faire connaître ces procédés secrets, pas plus qu'Édison ne publiera la nouvelle invention qu'il a proposée dans le même but au Gouvernement de la Maison-Blanche.

Qu'il suffise au lecteur de savoir à ce sujet la seule chose qui, au fond, lui importe : c'est que par ces procédés, non encore dévoilés, beaucoup de sous-marins allemands ont été envoyés par le fond.

Si l'on fait maintenant la synthèse de toutes ces méthodes de destruction des sous-marins, de tous ces pièges qu'on peut leur tendre, de toutes ces façons de les attaquer, on peut se rendre compte, d'après les résultats déjà obtenus, qu'il suffira de les développer un peu plus pour rendre la mer tout à fait intenable à l'ennemi sous-marin.

Trop de dangers le menaceront, pour ainsi dire à chaque tour d'hélice, trop de risques seront à courir, trop de sinistres le décourageront, sans compter que toute l'activité des chantiers de construction allemands ne suffira pas à compenser les pertes que nous infligerons à leurs bâtiments.

Et ce jour-là, les Allemands en seront réduits à avouer la faillite du blocus sous-marin, en la déguisant sous de faux airs d'humanité, comme ils ont avoué la faillite des zeppelins après qu'on leur en eut démoli une demi-douzaine en quelques jours.

Mais en terminant, il est bon d'insister sur le rôle important que joue la surveillance des côtes dans cette lutte. Sans doute, avec leurs soutes à pétrole complètement remplies, et en naviguant à petite vitesse, les sous-marins peuvent rester éloignés plus d'un mois de leur base ; mais on ne vit pas de pétrole seulement. Le ravitaillement est indispensable : que ce soient des vivres, des munitions, voire même un abri qui leur procurera quelques heures de tranquillité et par suite de repos, les sous-marins ont besoin périodiquement d'aller chercher cela sur des côtes où ils se sont

ménagé des intelligences. Ce ravitaillement les aide puissamment.

Empêcher ce ravitaillement est donc une partie essentielle de la lutte contre le sous-marin. Il faut se défier des côtes désertes, des havres abandonnés, des îles si nombreuses en certains parages. Il faut tout inspecter. Malheureusement, nos pouvoirs s'arrêtent à la limite des eaux territoriales des neutres. C'est pourquoi il faut souhaiter que ces nations aient de plus en plus de vigilance, pour garder leur neutralité, en s'assurant que leurs côtes ne sont pas subrepticement utilisées par l'ennemi. Et fort heureusement, la politique allemande a fait tout ce qu'il fallait pour que les neutres comprennent la nécessité, pour eux, d'exercer ce contrôle.

CHAPITRE VII

LES EXPLOITS DES SOUS-MARINS ALLIÉS

La marine de l'Entente a joué depuis le début de la guerre un rôle capital, en nous assurant la maîtrise de la mer et en isolant ainsi les Empires centraux. Puisque, à de rares exceptions près, la flotte de haute mer allemande ne se risque pas à affronter les escadres britanniques et reste terrée, si l'on peut dire, dans ses ports, au fond de rades profondes, à l'abri de triples rangs de mines et de barrages, on ne peut pas espérer que ce soit la marine, à elle seule, qui assure la décision finale ; mais dans l'accomplissement de cette tâche gigantesque qu'est l'anéantissement de la puissance militaire austro-allemande, la part qui reviendra à nos flottes sera considérable. En bloquant les empires de proie, en leur coupant tout ravitaillement extérieur, elle aura puissamment contribué à gêner la production industrielle de l'Allemagne ; en lui interdisant toute exportation, elle aura fait plus que tous les emprunts successifs de M. Hellferich pour abaisser le change du mark ; enfin, en amenant le rationnement de plus en plus étroit de la population germanique, elle aura puissamment contribué à affaiblir sa résistance morale et même sa résis-

tance physique. Mais ce rôle, si important, accompli au prix d'efforts soutenus, semble malgré tout peu glorieux, comparé à celui des armées de terre; les batailles navales sont trop rares. Disons le mot, ce rôle paraît ingrat; cela tient à la trop grande supériorité de nos forces navales. En marine, plus encore que sur terre, le matériel est presque tout; certes, l'initiative, les qualités manœuvrières peuvent suppléer dans une certaine mesure et momentanément à une légère infériorité matérielle; elles ne sauraient compenser la supériorité écrasante que nous possédons, nos Alliés et nous, en bâtiments de guerre de toute espèce et en canons. Dans ces conditions, l'Allemagne refuse systématiquement le combat; et il faut avouer que c'est ce qu'elle a de mieux à faire. Si par hasard elle exécute une sortie, c'est moins dans un but militaire que pour donner une apparence de satisfaction à l'opinion publique qui réclame pour que la flotte allemande fasse parler d'elle, et ces sorties se terminent piteusement.

La tâche de la marine consiste donc à monter la garde autour des côtes ennemies et à exercer la police des mers, où ne se risque d'ailleurs aucun bâtiment de surface allemand ou autrichien. Tâche pénible, très dure et rendue particulièrement dangereuse, non seulement par les sous-marins, mais encore par les mines que les Boches sèment un peu partout, sans se soucier plus des prescriptions formelles de la conférence de La Haye que de leur premier chiffon de papier. Mais tâche peu brillante.

En outre, ce qui contribue encore davantage à faire paraître terne le rôle de nos marins, c'est la sobriété voulue des communiqués de la marine, on pourrait presque dire le mystère dont on est

obligé d'entourer, de voiler leurs prouesses les plus glorieuses.

Que de faits d'armes admirables sont restés inconnus ou simplement anonymes... Mais voilà, nous sommes entourés d'une nuée d'espions réfugiés dans les pays neutres; et il est indispensable en marine, au moins autant si ce n'est plus qu'à l'armée, de tenir secrets les mouvements de navires; il faut à tout prix éviter de renseigner nos ennemis.

Il est donc beaucoup moins aisé de raconter les hauts faits de nos sous-marins que ceux de nos poilus. Et, en le faisant, il sera nécessaire d'observer une discrétion particulière.

LES SOUS-MARINS DANS LA MER DE MARMARA

Les Dardanelles sont plus qu'un détroit, un véritable canal de 65 kilomètres de longueur, et dont la largeur totale s'abaisse, en deux étranglements, à moins de 1.800 mètres. Forcer un tel passage avec des sous-marins était une entreprise extrêmement hardie, aventureuse même en raison des difficultés de toutes sortes échelonnées le long de ce parcours. Le trajet devait être obligatoirement effectué en plongée complète, et même, à cause des batteries ennemies dissimulées le long des deux rives, il était nécessaire de ne faire émerger le périscope que pendant de courts instants, juste le temps de rectifier sa route pour éviter l'échouage. La difficulté de la navigation était encore accrue par les courants très forts dont la vitesse atteint plusieurs nœuds, et qui rendent ce

passage tout à fait analogue à un fleuve profond. Il fallait éviter les mines sous-marines ou flottantes répandues à profusion. Des barrages en filets extrêmement solides semblaient enfin opposer au passage des sous-marins un obstacle infranchissable.

Ces difficultés ne firent que stimuler l'ardeur entreprenante des commandants des navires français et britanniques, qui allèrent jusqu'à solliciter, avec insistance, le périlleux honneur que leurs chefs ne croyaient pas prudent de leur accorder.

On a su comment quelques-uns des sous-marins français qui s'aventurèrent dans l'étroit goulet, après avoir traversé la plus grande partie des barrages, furent arrêtés par les suivants ; pour l'un de ces sous-marins, il semble bien qu'en voulant éviter une zone minée il fut obligé de s'écarter un peu trop du chenal navigable et, drossé par le courant, il vint s'échouer sur un haut-fond ; pour l'autre, un doute plane sur les causes de son échec : a-t-il été arrêté par un filet qu'il n'aurait pas pu traverser complètement et qui, s'accrochant à ses flancs, à ses gouvernails, aurait paralysé ses mouvements ; ou bien n'est-ce pas simplement une avarie grave survenue à sa machinerie, pendant qu'il plongeait profondément pour passer au-dessous d'un barrage, qui l'aurait obligé à remonter en surface et aurait causé sa perte ? on ne sait ; mais ces deux incidents montrent bien toute la difficulté de l'opération. Ces insuccès n'ont nullement diminué l'ardeur entreprenante des autres sous-marins. L'opération était grosse de risques ; les commandants se refusèrent à voir toutes les chances qu'ils avaient d'échouer ; n'y aurait-il eu qu'une seule chance de succès, ils voulaient la courir ; et c'est ainsi qu'en renouvelant

ces tentatives, plusieurs réussirent à pénétrer dans la mer de Marmara. Au prix de quels efforts surhumains, on s'en fera une idée, en se rappelant que les barrages établis, au début, avec des filets légers, souvent même en simples cordages, avaient été progressivement renforcés par les Turcs, avec des câbles en acier et même des chaînes. Ces barrages, solidement ancrés, descendaient profondément au-dessous de la surface, on a même dit jusqu'à 50 mètres de profondeur. Les sous-marins qui les ont traversés étaient-ils armés de couteaux aiguisés ou de puissantes cisailles capables de couper les chaînes, ou bien s'enfonçaient-ils jusque dans les abîmes pour passer au-dessous du filet, au risque de voir leur coque écrasée par la pression? c'est là leur secret. Mais le fait est là : ils ont passé.

Et une fois dans la bergerie, c'est la mer de Marmara que je veux dire, ces loups y restaient le plus longtemps possible, jusqu'à ce qu'ils aient épuisé, non pas leurs provisions, mais leurs munitions.

C'est en effet un des côtés les plus pittoresques de ces raids audacieux de sous-marins, que ces séjours de plus d'une semaine dans une mer fermée, où ils menaient une vie de Robinson ou de corsaire, dans laquelle on retrouve la marque très nette du caractère sportif anglais. Manquaient-ils de vivres, ils arrêtaient une barque chargée de provisions, se faisaient livrer légumes, fruits et victuailles, puis, après avoir passé l'inspection de la barque, ils la laissaient aller. Conduite bien différente de celle des pirates allemands.

Mais ces manières de gentlemen n'excluaient pas l'audace, ils l'ont bien montré en s'aventurant jusque dans Constantinople, à l'entrée de la Corne

d'Or, pour y faire sauter des transports à l'ancre dans le port, et même endommager le pont de Galata.

Ils ne se bornaient pas d'ailleurs uniquement à des opérations purement maritimes. Utilisant les canons, déjà d'assez gros calibres, dont ils sont munis, à différentes reprises des sous-marins anglais ont bombardé le chemin de fer dans les parties où il est assez rapproché de la côte, afin de gêner le ravitaillement des troupes turques de la presqu'île de Gallipoli.

On prétend même qu'ils poussèrent l'audace jusqu'à exécuter des opérations à terre. Un officier avec quelques hommes se serait fait déposer sur le rivage, avec une charge détonante et, se dissimulant dans la brousse, ils seraient allés porter l'explosif jusqu'à un ouvrage d'art de la ligne de chemin de fer, relativement éloigné de leur point de débarquement. Puis, surpris au moment où ils allaient faire sauter le pont ou le tunnel, ils s'enfuient, se cachent, reviennent au rivage, et sous la fusillade se jettent résolument à la mer pour regagner leur sous-marin à la nage. N'est-ce pas là un véritable roman de Rudyard Kipling, mais un roman vécu ?

Ces prouesses n'ont pas seulement rapporté une gloire bien méritée à ces vaillants marins, elles ont eu des résultats concrets : indépendamment même de l'impression de terreur causée à Constantinople, des quantités de transports ont été coulés, toute navigation a été pratiquement interrompue dans la mer de Marmara.

LES SOUS-MARINS DANS LA BALTIQUE

Autant qu'on en peut juger, l'entrée des sous-marins anglais dans la mer Baltique répondait à deux objectifs : gêner le plus possible la navigation allemande qui ravitaillait les Empires centraux par la Suède, en important principalement du minerai de fer, et aussi un peu de cuivre, fournir à la marine russe l'appoint de quelques unités sous-marines de plus, dont le concours s'est montré très utile dans les opérations heureuses réalisées dans le golfe de Riga en liaison avec l'armée de terre.

La traversée des détroits, Sund, Grand et Petit-Belt, présentait donc un intérêt de premier ordre.

Si la mer Baltique n'est pas fermée, comme la mer de Marmara, par un goulet long et étroit, les difficultés de ce passage n'étaient pas beaucoup moindres.

D'abord, au lieu d'avoir affaire à une marine de guerre à peu près inexistante comme celle de la Turquie, on se trouvait presque à la limite des eaux allemandes, dans une région constamment parcourue, gardée par des patrouilles de torpilleurs, contre-torpilleurs, ballons dirigeables et avions allemands. En second lieu, si les passes étaient moins étroites et moins longues, les courants moins violents, le manque de profondeur de la mer rendait la navigation tout aussi difficile.

De ces détroits, celui dont le passage est le plus commode et qui était toujours utilisé par les grands bâtiments en temps de paix, le Grand-Belt, était complètement fermé par des champs de mines;

le Petit-Belt était également inutilisable, en raison du manque de fond et des mines. Bien que le déplacement des sous-marins soit beaucoup plus faible que celui des grands bâtiments de surface, cuirassés, cargos ou paquebots, et ne dépasse pas sensiblement 1.000 tonneaux en plongée, leur tirant d'eau en immersion complète n'est pas sensiblement différent.

Le seul passage possible était donc le Sund, assez resserré dans le voisinage de Copenhague, et n'offrant qu'un chenal très étroit, propre à la navigation, avec des profondeurs par endroits tout à fait insuffisantes. Passer en plongée, dans ces endroits-là, était tout à fait impossible : passer en surface était s'exposer à une destruction tout aussi certaine, étant donné le nombre de bâtiments de guerre allemands en faction. Les difficultés étaient encore accrues par la présence des mines allemandes, suédoises et danoises. Il y a lieu d'observer en effet que l'on ne pouvait attendre aucune complaisance de la part de ces neutres. Pour le peuple danois, quelles que soient ses sympathies, la situation géographique de son pays le mettait dans l'impossibilité de les manifester. Quant aux Suédois, leur neutralité, soyons toujours parfaitement corrects, était influencée par le parti germanophile très puissant dans ce pays ; et c'est ainsi que des mesures furent prises, comme l'extinction de certains phares du côté de Malimoë, qui devaient aggraver encore les difficultés de la navigation de nuit dans ces parages.

Eh bien ! malgré tout, en dépit de ces obstacles accumulés par la nature et les hommes, les sous-marins anglais ont passé. Comment ce tour de force a-t-il été réussi ? l'Amirauté anglaise, avec une dis-

crétion prudente, n'a pas cru devoir le dire; mais il est permis de supposer que la traversée des détroits a dû se faire de nuit, les sous-marins naviguant en plongée, partout où il y avait assez de fond pour pouvoir le faire, et, arrivés à la passe où les fonds se relèvent, il est probable qu'ils sont revenus courageusement à fleur d'eau et se sont glissés silencieusement, en s'efforçant d'éviter aussi bien les patrouilleurs allemands que les bancs de sable. Bien des fois, sans doute, dans cette passe difficile, il a dû leur arriver de talonner le fond avec leur quille, car aucun feu ne leur permettait de rectifier leur position, et ils devaient se fier uniquement à leurs boussoles.

Là aussi des accidents sont survenus, et l'on a encore présent à la mémoire le récit tragique, qui a paru dans les journaux, de l'échouage de l'un de ces sous-marins, à peu de distance de Copenhague.

Le bâtiment, trompé par les ténèbres, s'était trop écarté de l'étroit chenal navigable et était venu, selon l'expression consacrée en marine, se mettre au plein sur le rivage d'un petit îlot, situé dans les eaux territoriales danoises.

L'expédition était manquée, l'équipage s'attendait à être interné en Danemark. Mais bientôt les contre-torpilleurs allemands arrivaient sur les lieux et, au mépris de toutes les conventions internationales, se mettaient à canonner l'équipage du sous-marin, qui s'était rassemblé sur la passerelle. Il fallut l'arrivée de bâtiments de guerre danois, venus pour faire respecter leur territoire, pour mettre fin, non pas à ce combat, mais à ce massacre.

Et c'est grâce au dévouement de marins comme ceux-ci que d'autres sous-marins ont pu pénétrer

dans la Baltique, arrêter les navires qui rapportaient de Suède le précieux minerai de fer, et soit les obliger à rebrousser chemin, soit les capturer et les amener avec leur contrebande de guerre dans les ports russes, et enfin, dans la bataille du golfe de Riga, contribuer puissamment à mettre en déroute la flotte allemande et torpiller un de ses plus puissants bâtiments cuirassés.

LES SOUS-MARINS DANS L'ADRIATIQUE

Dans l'Adriatique, les sous-marins français ont opéré avec ceux de nos alliés, les Italiens et les Anglais. Leur première tâche consistait à interdire complètement le passage du canal d'Otrante à tout navire ennemi ; il l'ont accompli dès le premier jour où l'Italie est entrée en guerre, et ils continuent à bloquer hermétiquement la mer Adriatique. Leur seconde tâche consistait à détruire la flotte autrichienne et à gêner le ravitaillement des troupes sur les côtes dalmate et albanaise ; elle présentait, en raison des conditions géographiques, bien connues de tous les Italiens, mais souvent ignorées en France, de très grandes difficultés. Ce long canal de la « mer très amère », comme l'a appelée Gabriel d'Annunzio, a deux rives totalement différentes, et c'est même cette différence essentielle de constitution géologique du littoral qui explique les aspirations italiennes.

La côte ouest, celle de l'Italie, est basse et plate presque sans sinuosités, elle n'offre aucun abri aux navires, à tel point que de Tarente à Venise, il n'existe pas une seule bonne rade susceptible d'être utilisée par une escadre. L'Italie se trouve donc dans

une situation tout à fait désavantagée, et son infériorité s'accentue encore par le contraste qu'offrent ces rivages inhospitaliers avec la côte opposée.

Depuis Trieste jusqu'à la Grèce, des montagnes parfois très élevées bordent le rivage de très près, sans interruption ; ainsi le célèbre mont Lovcen, qui tenait Cattaro sous le feu de ses canons, s'élève à plus de 1.700 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces côtes abruptes sont profondément découpées par des baies, des golfes, des anfractuosités, des espèces de fiords dont les sinuosités s'enfoncent profondément dans les terres. L'Italie, dès le début des opérations, s'est assuré la possession de l'une des meilleures de ces rades, celle de Valona, qui peut abriter en toute sécurité toutes ses escadres.

Mais le plus remarquable de ces abris naturels est celui qui porte le nom de Bouches de Cattaro. Figurez-vous une série de vastes bassins naturels, entourés par des montagnes de 800 à 900 mètres de haut, et communiquant entre eux par des passes étroites et profondes. C'est une véritable forteresse navale créée là par le caprice de la nature.

Les navires du plus fort tirant d'eau peuvent pénétrer jusqu'au fond de ce labyrinthe, où ils seront aussi parfaitement à l'abri des coups de vent que des bombardements de l'ennemi. L'étroitesse des passes, en outre, facilite singulièrement l'établissement de barrages, en même temps que les parois abruptes du rocher fournissent les meilleurs emplacements pour y dissimuler des batteries. Et ce n'était pas assez que toute cette côte constitue, par elle-même, une vraie ligne de fortification ; en avant de cette ligne tout un archipel d'îles s'étend,

comme pour former une seconde ligne avancée qu'on ne saurait mieux comparer qu'au réseau compliqué de tranchées et de boyaux dont les Allemands ont garni leur front occidental.

Entre ces îles, les bâtiments ennemis peuvent circuler à peu près en sécurité, protégés qu'ils sont par les mines qu'ils ont mouillées dans les chenaux. Si même ils se hasardent quelque peu hors de cet archipel, à la première attaque ils peuvent s'éclipser entre ces îles, et bien imprudent serait celui qui s'élancerait inconsidérément à leur poursuite. Telles sont les défenses naturelles qu'offre la côte orientale de l'Adriatique ; et l'on conçoit que les Italiens, parmi leurs revendications, insistent si fortement pour la possession de cette côte ou tout au moins de ces îles : ils savent, par expérience, que la maîtrise de la mer Adriatique appartient forcément à la nation qui possède la côte dalmate.

C'est au milieu de ces obstacles formidables que nos sous-marins ont eu à lutter. Il n'est pas possible de raconter dans leur ensemble ces opérations ; mais on peut citer quelques-unes des prouesses les plus remarquables qu'ils ont accomplies. A différentes reprises, ils ont pénétré dans le plus fortifié de ces réduits, dans les Bouches de Cattaro, avec une hardiesse qui est presque de la témérité ; l'un d'eux, notamment, dont nous tairons le nom à notre grand regret, franchit la première passe des Bouches sans être aperçu, continua sa route en plongée jusqu'à la seconde, prenant la précaution de ne faire émerger son périscope que juste le temps nécessaire pour modifier sa direction.

Arrivé dans le deuxième bassin naturel, il fut sans doute aperçu et il eut à essuyer le feu des

batteries de la côte. Au moment critique, le sous-marin plonge profondément, reste immobile plusieurs heures; mais le commandant ne peut pas se décider à renoncer à une entreprise qui avait si bien débuté; il décrit, en plongée profonde, des circuits compliqués pour dépister l'ennemi. Puis, prudemment, il hasarde un coup d'œil circulaire avec son périscope et il reprend sa marche en avant : il contourne le dernier promontoire rocheux, derrière lequel va se montrer enfin le fond extrême du fiord : le port de Cattaro. A ce moment, un choc se produit et le sous-marin est arrêté : il a donné contre un filet. Moment d'angoisse pour tout l'équipage. Remonter en surface, il n'y faut pas songer, car ce serait la perte certaine, sous le feu des canons autrichiens. Rester au fond, c'est la mort lente par asphyxie. Tous connaissent bien ces deux alternatives également terribles, et cependant chacun se tait. L'état-major délibère, la décision du commandant est prise; dans un silence impressionnant il donne ses ordres pour exécuter une manœuvre qui permettra peut-être de dégager le sous-marin ; les moteurs sont mis en marche arrière; le bâtiment ne paraît pas obéir. Plus vite, alors : un craquement se fait entendre : le filet vient d'être rompu, le sous-marin est dégagé, on est sauvé. Mais il ne faut pas perdre son sang-froid ; il faut veiller aux gouvernails de plongée, maintenir l'immersion exacte dans cette marche à reculons, car il ne s'agirait pas, en ce moment, par un faux coup de barre, de revenir intempestivement en surface.

D'autres expéditions ont eu une fin tragique. Les journaux ont parlé, en son temps, de la fin héroïque du sous-marin *Curie*. Ce bâtiment devait aller rechercher l'escadre autrichienne dans son

repaire de Pola, où elle se tenait réfugiée, protégée par plusieurs rangs de barrages, et torpiller les cuirassés au gîte. Manœuvré avec une habileté consommée, le *Curie* a réussi à éviter tous les obstacles accumulés à l'entrée de la rade ; de là il pousse plus à fond, il entre dans le port même de Pola, il touche au but.

C'est à ce moment, à l'intérieur même du port, qu'il donne dans un barrage qui l'arrête.

Moins heureux que le sous-marin de Cattaro, toutes les tentatives qu'il fait pour se dégager restent vaines. Mais il ne se résigne pas à se rendre : il reste au fond. Quelles heures ont vécues ces marins, dans leur prison sous-marine ? on ne le saura que beaucoup plus tard ; quelle agonie brute et voulue ! Cependant, peu à peu, l'atmosphère du sous-marin, respirée par ces vingt-six poitrines, se vicie ; quelques hommes commencent déjà à éprouver des malaises, maux de tête, vertiges, symptômes caractéristiques de l'asphyxie prochaine ; tous éprouvent cette sensation angoissante de l'étouffement. C'est alors que se livre un combat dans la conscience du commandant : il peut se sacrifier lui-même s'il juge que son devoir le lui commande, mais a-t-il le droit de conduire à la mort ses hommes sans nécessité absolue ? Il songe que la présence de son bâtiment dans le port a été signalée ; il ne peut avoir de doutes sur ce point ; ne vient-il pas d'entendre résonner sur sa coque des coups qui indiquent que sa position est repérée et qu'on essaie de crocher le bâtiment avec des grappins ? Son sacrifice est inutile, puisque, dans quelques jours, avec le puissant outillage du port de Pola, les Autrichiens arriveront à renflouer la coque dont il avait voulu faire son cercueil.

Alors, dans un dernier sursaut d'énergie, il décide de remonter à la surface et de vendre chèrement sa vie. Mourir, soit, mais mourir en combattant. L'ordre est exécuté, on entend le sifflement de l'air comprimé envoyé dans les ballasts pour chasser l'eau ; le manomètre indique bientôt que le sous-marin remonte. Une lueur glauque filtre par les hublots du kiosque, à chaque seconde un peu plus claire, indiquant qu'on se rapproche de la surface. Alors on ouvre les panneaux, une bouffée d'air frais pénètre dans le sous-marin. Les hommes qui le respirent les premiers en sont étourdis et tombent en syncope; c'est ce qui leur sauvera la vie. Les autres se précipitent sur le pont du sous-marin où ils sont accueillis par un crépitement de balles qui les fauchent; le commandant lui-même est grièvement blessé; mais il avait eu le temps, auparavant, de rouvrir les prises d'eau du *Curie* qui coulait peu d'instants après que les survivants de l'équipage avaient pu être débarqués.

Bien d'autres sous-marins ont passé par des instants aussi critiques et ont eu plus de chance que le *Curie*. On ne saurait les citer tous. L'un des nôtres, et des plus gros, s'était aventuré dans les chenaux qui circulent entre les îles de la côte dalmate, à la recherche de bâtiments ennemis. Une première fois, malgré les précautions prises, il est aperçu et violemment canonné : fort heureusement, il plonge profondément, suffisamment vite pour échapper à l'ennemi. Il décrit alors, en plongée complète, sans sortir son périscope une seconde hors de l'eau, des cercles compliqués de manière à dépister l'ennemi. Lorsque enfin il croit être sûr que sa trace est bien perdue, il hasarde un coup de périscope et il aperçoit à bonne distance un trans-

port militaire, convoyé par des contre-torpilleurs. Il se rapproche; arrivé en position de tir, il lance sa torpille et aussitôt plonge profondément. Quelques secondes après, une violente explosion l'avertit que sa torpille est bien allée au but. Instant de joie ineffable pour le commandant et pour tout l'équipage, suivi bientôt d'une alerte terrible. D'autres explosions moins puissantes se font entendre : le sous-marin a été découvert par les contre-torpilleurs qui convoyaient le transport, et ceux-ci cherchent à le détruire avec des bombes. Les explosions se font plus violentes, signe qu'elles sont plus rapprochées; toute la coque est ébranlée. A la suite de l'une d'elles, une trombe d'eau se précipite à l'intérieur du sous-marin, par le panneau du kiosque.

Est-ce la fin? non; sans perdre le sang-froid, le panneau de sécurité qui isole le kiosque est fermé : la voie d'eau est limitée, arrêtée. Mais sous le poids de cette eau qui s'est introduite, le sous-marin alourdi a commencé à descendre. On agit sur les barres de plongée pour combattre cette descente; le moyen est insuffisant, l'aiguille du manomètre continue, avec une vitesse qui s'accélère, à indiquer des profondeurs croissantes; dans quelques secondes, la profondeur limite de résistance de la coque sera atteinte et même dépassée : le sous-marin sera écrasé par l'énorme pression extérieure. Un commandement retentit : « Larguez les plombs de sécurité! » C'est le moyen héroïque pour combattre la descente. L'aiguille du manomètre se ralentit, elle paraît hésiter, elle s'arrête enfin : le mouvement est enrayé. Le péril immédiat est conjuré. D'autres dangers restaient à courir; le sous-marin, délesté de ses plombs de sécu-

rité, privé de l'usage de son kiosque rempli d'eau, était dans les plus mauvaises conditions pour naviguer. Il réussit néanmoins à se maintenir entre deux eaux et à sortir de ce chenal dangereux.

La fin du sous-marin *Monge,* bien qu'entourée encore de beaucoup de mystère, est également à rappeler; l'héroïsme du commandant de ce bâtiment, le commandant Roland Morillot, mérite d'être cité à côté des traits les plus sublimes que nous a transmis l'antiquité. Toute l'affaire semble s'être passée par une nuit noire; pour comprendre la possibilité de l'accident, il ne faut pas oublier non plus que, pour un sous-marin, les chances de mettre la torpille au but sont d'autant plus grandes que l'on tire de plus près, et qu'il y a, par suite, intérêt, pour ne pas manquer son objectif, à s'en rapprocher le plus possible. D'autre part, l'appréciation des distances, déjà délicate de jour au moyen du périscope, devient tout à fait aléatoire de nuit, lorsqu'on ne voit plus même la masse sombre des bâtiments, mais seulement leurs feux, si même ces feux n'ont pas été masqués volontairement. Sachant cela, il est permis de supposer que le *Monge,* au moment de torpiller un bâtiment autrichien, a heurté un des bâtiments convoyeurs qu'il n'avait pu apercevoir dans l'obscurité.

Le choc produisit une voie d'eau grave qui, presque instantanément, entraîna le sous-marin à une profondeur considérable, où la coque donnait déjà les premiers signes précurseurs de l'écrasement. Tous les moyens pour revenir en surface étant mis en action, la course à l'abîme du bâtiment s'arrêta, puis il commença à remonter d'un mouvement s'accélérant. Arrivé en surface, le com-

mandant Morillot se vit entouré de torpilleurs ennemis : c'était la capture inévitable. Son sang d'officier se révolte à cette pensée. « Plongez ! » Tel fut l'ordre qu'il donna, et ses hommes s'apprêtaient à l'exécuter. Alors, songeant sans doute à toutes les veuves et à tous les orphelins qu'il allait faire, il décida de surseoir à l'ordre qu'il avait donné. « Tenez bon ! » Et en donnant ce contre-ordre, il ne put empêcher des larmes de rage impuissante de couler de ses yeux. Tout son équipage reçut l'ordre de débarquer et fut recueilli par les contre-torpilleurs ennemis. Lorsque le dernier homme fut en sécurité, on vit le sous-marin *Monge* s'enfoncer sous les flots et disparaître définitivement. Le *Monge* n'avait pas été capturé par l'ennemi ; la mer profonde l'avait englouti et ne le rendrait pas : le commandant Morillot était resté à son poste à bord, et volontairement avait coulé avec son bâtiment, préférant la mort à la captivité.

On comprendra maintenant pourquoi l'un de nos plus récents sous-marins a reçu ce nom glorieux entre tous de *Roland-Morillot*.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

CHAPITRE VII

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AVRIL 1917

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

e SÉRIE f

A. SARTORY

Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de Paris
Chef du Service Bactériologique à l'École supérieure de Pharmacie de Nancy
Lauréat de l'Institut et de l'Académie de Médecine

LE TRAITEMENT DES PLAIES DE GUERRE

AVEC 6 FIGURES DANS LE TEXTE
5 PLANCHES EN NOIR ET 1 PLANCHE EN COULEURS HORS TEXTE



2e MILLE

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS — 5-7, RUE DES BEAUX-ARTS | NANCY — RUE DES GLACIS, 18

Prix : 2 francs



LE TRAITEMENT

DES

PLAIES DE GUERRE

Il a été tiré de ce volume cinquante-cinq exemplaires numérotés, dont :

5 sur papier du Japon (Nos 1 à 5);

50 sur papier de Hollande (Nos 6 à 55).

PAGES D'HISTOIRE — 1914-1917

A. SARTORY

3

Professeur agrégé à l'École supérieure de Pharmacie de Paris
Chef du Service Bactériologique à l'École supérieure de Pharmacie de Nancy
Lauréat de l'Institut et de l'Académie de Médecine

LE TRAITEMENT

DES

PLAIES DE GUERRE

AVEC 6 FIGURES DANS LE TEXTE
5 PLANCHES EN NOIR ET 1 PLANCHE EN COULEURS HORS TEXTE



LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS
5-7, RUE DES BEAUX-ARTS

NANCY
RUE DES GLACIS, 18

1917

INTRODUCTION

L'infection des plaies de guerre est à l'ordre du jour. A tous moments, durant la terrible épreuve que nous traversons, des problèmes nouveaux se posent pour chacun, et en particulier pour le chirurgien.

Les infections spéciales, qui apparaissent surtout au front, naissent et se développent avec une rapidité déconcertante pour le bactériologiste et le biologiste; ces infections trouvent un terrain favorable chez les blessés.

Les inventions de la guerre moderne ont augmenté dans des proportions énormes le nombre et la forme des blessures. Les balles, les éclats d'obus, de bombes, de grenades, de torpilles, les liquides enflammés et corrosifs, occasionnent les accidents les plus divers.

Toutefois, on éprouve un soulagement en pensant que la science actuelle ne s'est pas seulement ingéniée à détruire, mais qu'elle a contribué aussi, bien que dans une faible part, à la diminution des maux de l'humanité.

S'il est aisé de détruire, moins facile est de réparer,

et il a fallu toute l'ardeur patriotique de nos savants, de nos chirurgiens, de nos médecins, pour se mettre courageusement à l'œuvre du formidable sauvetage que leur a imposée la barbarie allemande.

Et aux miracles de la science sont venus se joindre les miracles du dévouement; tous, infirmiers comme infirmières, ont voulu apporter, jour et nuit, à nos savants la collaboration inlassable de la plus sublime charité.

Lors de la déclaration de la guerre en août 1914, au milieu du désarroi de l'organisation hâtive des premiers secours, les efforts ont tendu tout d'abord au soulagement immédiat du blessé. Chacun a proposé une méthode; l'iode, l'alcool, l'éther, le formol, le gaïacol, etc., etc., ont successivement joué leur rôle; des produits antiseptiques de moindre puissance ont été préconisés également ainsi que certains sérums thérapeutiques et certains liquides nutritifs.

Dans la suite, un grand nombre de procédés ont été éliminés par nos chirurgiens devant l'évidente efficacité de certaines méthodes.

Il nous a paru instructif, pour renseigner le lecteur, devant la variété des procédés et les divergences d'opinions, de faire connaître quelques-uns des principaux résultats obtenus par les méthodes les plus diverses.

Tout d'abord, il a fallu faire table rase des erreurs du début de la campagne. C'est ce qu'a fort bien compris le Service de Santé en envoyant l'élite de nos

chirurgiens le plus près possible des champs de bataille, afin qu'ils fussent à même d'opérer nos soldats aussitôt après la blessure.

Le débridement précoce et large constitue la base immuable et efficace du traitement des plaies de guerre, sauf dans des cas devenus rares, comme la traversée aseptique d'un membre par la balle de fusil et la plupart des plaies de poitrine.

Tous les antiseptiques sont inutiles si le foyer infecté n'est pas mis à nu sur toute sa longueur et dans tous ses recoins.

Autrefois, le chirurgien basait le plus généralement sa détermination opératoire pour la suture sur l'aspect clinique de la plaie.

Au cours de ces trois années de guerre, un fait nouveau s'est dégagé : c'est qu'au chirurgien il faut adjoindre le bactériologiste et l'histologiste pour déterminer avec précision l'état de la blessure pendant son traitement jusqu'à l'époque où elle pourra être suturée.

Sans doute un diagnostic ne s'établit pas uniquement sur les données d'une analyse bactériologique, biologique ou chimique, mais sur un ensemble d'observations qui se complètent mutuellement.

Qui oserait cependant affirmer aujourd'hui qu'une recherche microscopique ou chimique n'a jamais modifié dans une large mesure les conclusions d'un examen clinique, en opposant la précision d'un fait aux entraînements si séduisants de l'hypothèse?

Certes, les méthodes de l'antisepsie, de l'asepsie, l'emploi des sérums et liquides nutritifs artificiels sont venus compliquer singulièrement le manuel opératoire et l'arsenal chirurgical. Mais les chirurgiens sont largement récompensés par les résultats acquis d'avoir eu le courage de rompre avec des traditions surannées.

A l'heure actuelle, la chirurgie a définitivement abandonné les voies de l'empirisme dont elle s'entourait et elle utilise les données de la science expérimentale pour le plus grand bien de nos glorieux blessés.

A. S.

N. B. — On trouvera à la fin de ce volume la liste des savants cités au cours de l'ouvrage, ainsi qu'un index des mots spéciaux dont l'usage est, en général, peu familier au public.

9

LE TRAITEMENT

DES

PLAIES DE GUERRE

INFECTION MICROBIENNE DES PLAIES DE GUERRE

Il faut se demander dans le traitement des plaies de guerre que l'on voit plus particulièrement au front, quel traitement il convient de faire subir aux tissus incisés et nettoyés par des moyens que, si l'on veut, on dénommera mécaniques.

On peut, avec SOUBEYRAN, ramener à trois groupes les méthodes de pansement qui se sont succédé depuis l'ère antiseptique :

1° La **méthode antiseptique**, la plus ancienne, la plus connue, celle qui vraiment a fait ses preuves, et à laquelle beaucoup de succès sont dus ;

2° La **méthode aseptique**, qui a eu de nombreux partisans et qui même semblait avoir fait perdre du terrain il y a quelques années à la méthode anti-

septique; de l'avis de chirurgiens compétents, cette méthode est bonne en chirurgie civile, excellente pour les opérations purement aseptiques, mais elle peut être considérée comme une faute, ou tout au moins d'emploi exceptionnel, en chirurgie de guerre, car ici l'infection originelle est la règle (Soubeyran);

3° Il y a une troisième méthode de traitement des plaies qui est toute nouvelle et qui a déjà beaucoup de partisans; c'est une méthode **rationnelle, spécifique**, qui s'adresse au terrain, aux tissus, que l'on aide à se défendre eux-mêmes vis-à-vis des agents pathogènes, en leur créant un milieu approprié : c'est la méthode qui utilise les sérums ou liquides nutritifs artificiels.

Toutes les plaies de guerre sont septiques d'emblée, c'est-à-dire infectées, dès leur origine, par les micro-organismes. C'est là une véritable règle générale que les nombreuses observations et expériences faites, depuis bientôt trois ans, ont permis de poser; et il semble bien que cette règle ne souffre pas d'exceptions.

Si l'on songe en effet que, dans la terre et les eaux, sur la peau et sur les vêtements du soldat pullulent les microbes les plus dangereux, on comprend facilement qu'une balle de shrapnell ou un éclat d'obus, après ricochet, entraînera avec lui, dans l'intérieur des tissus qu'il pénètre, des débris de vêtements et des particules de terre accompagnés de la légion de leurs hôtes indésirables. Et comme ces derniers se trouvent dans un milieu particulièrement favorable à leur développement, en raison de la température de la plaie et des aliments éminemment nutritifs que leur fournit la désintégration des tissus mortifiés, on conçoit qu'au

bout d'un certain temps la plaie de guerre devienne le siège d'une véritable culture microbienne.

Et en effet, environ vers la sixième heure après la blessure, l'examen bactériologique qui jusque-là n'avait rien décelé, commence à révéler le développement des germes qui diffusent dans toute la plaie à partir du débris vestimentaire ou de l'éclat de projectile. Bientôt ce développement atteint toute son acuité, et, vers la douzième heure, la plaie pullule des microbes pathogènes les plus variés.

Ces derniers peuvent être classés en deux catégories : les uns, dits *aérobies,* tout comme des êtres ordinaires, ont besoin d'air pour vivre. Pour les autres, au contraire, l'oxygène se comporte comme un véritable poison et les tue dès qu'ils se trouvent en sa présence; de telle sorte que le développement de pareils microorganismes ne peut s'effectuer qu'à l'abri complet de l'air : on les appelle, pour cette raison, *anaérobies*.

Les plaies anfractueuses, souvent transformées en cavités closes ou, autrement dit, en « chambres d'attrition », sont particulièrement propices au développement de cette dernière catégorie de bactéries. Car, si dans ces anfractuosités, dans ces chambres d'attrition, il existe initialement une certaine quantité d'oxygène, celui-ci, n'étant pas renouvelé, est rapidement absorbé par les aérobies, qui préparent ainsi un milieu privé d'air, par conséquent favorable aux anaérobies.

Or, ces anaérobies sont, par excellence, les microbes redoutables des blessures. Ce sont eux qui, sous des espèces différentes, rarement isolés, le plus souvent

associés, occasionnent cette terrible complication des plaies de guerre qu'est la gangrène gazeuse. Il semble qu'ils aient hâte d'accomplir leur œuvre de mort, car ce sont eux qui sont mis tout d'abord en évidence, par le microscope, lorsqu'on étudie l'évolution bactériologique des plaies.

Les germes qui apparaissent les premiers se présentent sous forme de bâtonnets plus ou moins courts, possédant pour la plupart un renflement terminal ou simplement un point brillant qui est leur organe de multiplication, ou spore. Ces bâtonnets, ou « bacilles », restent colorés par la méthode de Gram ; ils sont les agents de la gangrène gazeuse et appartiennent à la famille du *Vibrion septique* et du *Bacillus perfringens,* tous deux hôtes constants des matières fécales.

Ensuite viennent des bacilles qui cette fois se décolorent par la méthode de Gram et qui rentrent dans le groupe du *Colibacille.*

Vers la seizième heure qui suit la blessure, apparaît dans celle-ci une nouvelle forme de bactérie. Alors que, jusque-là, il ne se rencontrait dans la plaie que des formes en bâtonnets ou bacillaires, on voit, dès lors, s'ajouter à celles-ci de petits grains arrondis, diversement associés : ce sont des microcoques ou « cocci ». Ceux-ci, groupés par deux, sont les « diplocoques », généralement peu ou pas pathogènes; réunis en chaînettes sinueuses, ce sont les « streptocoques », tantôt aérobies, tantôt vivant à l'abri de l'air; enfin, disposés en forme de grappes, ce sont les « staphylocoques ». Ces deux dernières variétés de cocci sont particulièrement dangereuses pour le blessé,

car ce sont elles qui provoquent et entretiennent la suppuration de la plaie.

Enfin, si l'examen bactériologique ne s'arrête pas aux premières heures qui suivent la blessure, il décèle, par la suite, outre les microcoques précédemment énumérés, la présence constante de deux organismes microbiens en forme de bâtonnets : le *Bacille pyocyanique,* agent du pus bleu, et le *Pneumobacille* de Friedländer (non encapsulé).

Telles sont les principales bactéries qui composent la flore microbienne des plaies de guerre. Ce sont elles qui, en infectant ces dernières, provoquent par leur action directe et par l'intermédiaire des poisons qu'elles sécrètent la nécrose des tissus et l'intoxication du blessé

L'ÉVOLUTION HISTOLOGIQUE DES PLAIES DE GUERRE DANS LES PREMIÈRES HEURES APRÈS LA BLESSURE

Les plaies de guerre sont non seulement caractérisées par les divers stades du développement de leur flore microbienne, mais aussi par la série de transformations très particulières que subissent, dans leur structure, les tissus qui en constituent les parois.

Les deux évolutions, microbienne et histologique, qui se produisent ainsi dans la plaie, sont d'ailleurs intimement liées l'une à l'autre. Elles dépendent toutes deux de la meurtrissure initiale, qui résulte elle-même de la force vive, de l'énergie développée contre les tissus par le projectile. Plus la force vive de la balle ou de l'éclat d'obus est considérable au moment de la blessure, et plus celle-ci sera grave quant à son infection et aux modifications ultérieures de ses tissus. Et cela est si vrai, que dans les plaies en séton, où le projectile n'abandonne qu'une très faible part de son énergie cinétique, en raison de son très court

passage à travers les tissus, l'évolution est, en général, peu grave.

Il en est de même dans les plaies par balles tirées de très loin, la force vive du projectile étant, dans ce cas, en grande partie épuisée lorsqu'il arrive au contact des tissus.

Bien au contraire, les plaies occasionnées par les balles tirées à très courte distance sont toujours graves et ont une évolution très septique en raison de la quantité notable de force vive cédée par le projectile.

Mais quelle que soit l'origine de la blessure de guerre, celle-ci offre presque toujours le même aspect dès sa première heure. On peut constater, à ce moment, qu'autour de l'orifice de pénétration du projectile se dessine une zone noirâtre qui se transformera, peu à peu, en une plaque de sphacèle. Sous la peau, on distingue quelques pelotons graisseux dissociés; et des suffusions sanguines se produisent, décollant les téguments.

Si l'on suit le trajet du projectile, on s'aperçoit bien vite que les muscles se trouvent dissociés et pour ainsi dire feuilletés par des hémorragies interstitielles qui infiltrent de leurs bandes noires le tissu conjonctif œdématié.

Le muscle, dans cet état, est dit « attrit ». De rouge vif qu'il était auparavant, il est devenu franchement terne ; en outre, une sérosité abondante baigne sa surface.

Mais ce qui caractérise surtout le muscle frappé d'attrition, c'est qu'il ne réagit pas sous la pince. Déchirés, ou même simplement contus par le projec-

tile, les tissus paraissent avoir perdu momentanément toute vitalité : il semble que l'événement les ait sidérés.

Cette sidération des tissus des plaies de guerre est caractéristique de celles-ci. Elle n'existe d'ailleurs pas qu'en surface, et nous allons la retrouver au cours de l'examen histologique de la blessure. Car cette dernière ne doit pas être uniquement observée cliniquement, quant aux modifications de ses tissus ; il importe en outre d'étudier ces derniers dans leurs détails les plus ultimes, c'est-à-dire d'en pratiquer l'examen histologique à l'aide du microscope.

Celui-ci nous révèle alors, sur une préparation obtenue par dissociation, puis coloration sur une lame, de quelques débris de tissus enlevés à la curette, la présence de fibres de coton ou de laine provenant des vêtements, et entourées chacune d'une véritable gaine sanguine coagulée, dans laquelle on distingue de place en place quelques globules blancs du sang ou *leucocytes*.

Jusqu'à la cinquième heure qui suit la blessure, les préparations microscopiques ne nous montrent pas autre chose ; aucune modification ne se manifeste, aucune réaction provenant des tissus sains ne se produit. La plaie est dans la phase de sidération précédemment signalée, phase excessivement nette et de durée relativement longue. A quoi donc est dû ce phénomène vraiment remarquable ? Il serait en rapport, si nous en croyons POLICARD, avec les lésions vasculaires et nerveuses occasionnées par la marche du projectile à travers les tissus. Celui-ci, en provoquant à distance la rupture de capillaires, de petits

vaisseaux et de nerfs, jetterait une perturbation considérable dans la mise en jeu des phénomènes réactionnels.

Mais cette phase de sidération ne s'éternise pas : environ vers la cinquième heure qui suit le traumatisme, apparaissent dans la plaie les leucocytes. Bientôt le nombre de ceux-ci s'accroît, et, en même temps que les bactéries se multiplient, il se produit un véritable afflux de globules blancs entourés d'un abondant exsudat. C'est alors que le rôle héroïque de ces derniers va commencer. Chargés de s'opposer à l'envahissement microbien, ils s'attaquent aux bactéries, les enveloppent grâce à leurs mouvements particuliers et, après les avoir englobés, en opèrent la digestion Il s'est donc produit une véritable réaction de l'organisme contre les phénomènes d'infection microbienne.

Mais, dans cette lutte du leucocyte contre le microbe, il peut arriver que ce dernier soit vainqueur. Grâce aux toxines qu'il sécrète en abondance, il finit souvent par avoir raison du leucocyte qui se désagrège peu à peu, sous l'action du poison microbien et libère ainsi son hôte involontaire.

Et le résultat de cette lutte va se manifester dans la plaie par la présence d'un liquide sanieux, le pus, dans lequel baignent des débris de leucocytes, des bactéries et des fragments de tissus nécrosés. Dans un tel milieu, les microbes vont pouvoir se développer à leur aise, propager de proche en proche l'infection et déverser dans la plaie les toxines qu'ils ne cessent de sécréter et qui, à la longue, en pénétrant dans le sang, empoisonnent le blessé

Il importe donc au chirurgien de lutter contre l'infection microbienne. C'est pour lui un problème nouveau, né de la guerre, puisque auparavant il s'efforçait, dans ses interventions, d'éviter l'infection alors qu'il la lui faut maintenant supprimer. Pour arriver à ce but, il convient tout d'abord de débarrasser la plaie de tous les tissus mortifiés qui la souillent et qui par leur désintégration fournissent, d'une part, un aliment essentiel au développement des bactéries et, d'autre part, des produits toxiques agissant localement d'abord, ensuite sur l'organisme tout entier. C'est donc, en somme, à un nettoyage de la plaie qu'il y a lieu de procéder, et ce nettoyage doit être précoce afin de prévenir, autant que possible, la pullulation microbienne.

En second lieu, il faut agir directement contre les microbes en les détruisant par des antiseptiques et en neutralisant, à l'aide de substances appropriées, les poisons qu'ils sécrètent.

Mais il est bien évident que, si l'arsenal pharmaceutique est particulièrement riche en antiseptiques, on ne peut puiser parmi ceux-ci sans essais et sans recherches préalables ; et il importe avant tout de veiller à ce que la substance employée ne soit pas nocive vis-à-vis des tissus sains de la plaie et n'entrave pas la réparation de celle-ci.

De telle sorte que la méthode idéale de traitement des plaies de guerre sera celle qui, après avoir débarrassé le terrain des parties mortifiées, réalisera une asepsie aussi parfaite que possible sans porter atteinte aux éléments normaux de la plaie.

L'ANTISEPSIE ET LE TRAITEMENT DES PLAIES INFECTÉES AVANT LA GUERRE ACTUELLE

Ce serait une erreur de croire que le chirurgien a eu de tout temps, à sa disposition, les moyens qu'il possède aujourd'hui de combattre l'infection. L'époque n'est pas encore très reculée où l'on ignorait tout de la pratique antiseptique, et, à vrai dire, cette dernière ne remonte guère qu'à un demi-siècle.

Toutefois, de temps immémorial, les praticiens utilisaient dans le traitement des plaies certaines substances et certaines méthodes qui ont été reconnues depuis comme nettement antiseptiques.

C'est ainsi que les onguents et les baumes, qui tenaient si grande place dans la thérapeutique chirurgicale des médecins de l'antiquité et du Moyen Age, agissaient surtout par isolement de la plaie qu'ils mettaient ainsi à l'abri de l'air et des agents extérieurs. Il y avait, dans cette technique, les germes de la méthode formulée des siècles plus tard par Guérin, sur l'occlusion des plaies et adoptée par les chirurgiens contemporains.

C'est dans un but semblable que les Arabes utilisaient le goudron qui, grâce à son principe actif, l'acide phénique, était en fait grandement antiseptique.

Jusqu'à Ambroise PARÉ, l'unique mode de traitement des plaies de guerre consistait à cautériser celles-ci à l'aide du fer rouge ; c'était certes un procédé primitif et brutal, mais qui, dans sa grossièreté, n'en reposait pas moins sur l'antisepsie.

En substituant à cette méthode l'emploi de l'huile de rose, Ambroise PARÉ, grâce à l'astringence et à l'essence très active de celle-ci, faisait encore de l'antisepsie.

Et même bien avant lui, MONDEVILLE, chirurgien du roi Philippe IV le Bel, préconisait, pour éviter la suppuration des plaies, la réunion immédiate suivie d'un pansement au vin chaud ou salé. Ce qui importait surtout pour lui, c'était de protéger la plaie contre l'air, agent de la suppuration, et c'est pourquoi il appliquait un pansement antiseptique.

Et des siècles s'écoulent sans qu'aucun progrès soit fait vers l'antisepsie. Il y a à peine cinquante ans, vers 1860-1870, le chirurgien semble encore tout ignorer de l'antisepsie. A cette époque, il n'est pas rare de rencontrer dans les hôpitaux des blessés atteints de suppuration interminable, et fréquents sont les cas d'infection purulente.

Cependant, c'est vers cette période que va se réveiller la pratique antiseptique. Pour éloigner les microbes et le pus de la plaie, certains chirurgiens préconisent l'*irrigation continue* de celle-ci par l'eau froide.

Les médecins anglais substituèrent à cette méthode

les *bains* ou *fomentations tièdes*. Puis *le drainage des plaies* permit plus souvent la réunion immédiate.

C'est aussi vers la même époque que A. Richet et Nélaton utilisèrent des pansements à l'alcool.

Pendant la guerre de 1870-1871, toute plaie en voie d'infection locale était immédiatement débridée par le chirurgien. Ce n'est seulement que vers la fin de la campagne que l'acide phénique fut employé dans le traitement des plaies en raison de ses propriétés antiseptiques.

Mais la chirurgie ne fut nettement orientée vers l'antisepsie et l'asepsie que du jour où Pasteur, par ses expériences mémorables, prouva que l'infection des plaies était due à des microorganismes. En démontrant que la chaleur détruisait les microorganismes contenus dans un liquide fermentescible, et qu'un tampon d'ouate suffisait ensuite pour empêcher la pénétration des germes de l'air et assurer ainsi la conservation indéfinie du liquide, le grand savant faisait triompher la théorie de la fermeture immédiate d'une plaie et de l'occlusion aussi complète que possible de celle-ci.

Dès ce moment, la microbiologie, ou science qui étudie la vie des microbes, était créée, et l'antisepsie prenait tout son essor.

En 1884, dans un mémoire sur « la Médecine et la Chirurgie des Anti-Septiques », Armand-Pierre Gourvat définissait la méthode antiseptique comme ayant pour objet « ou de prévenir la pénétration des agents pyogéniques du dehors, ou de distraire et détruire les éléments putrides internes ». Il la divisait en trois sous-méthodes :

La première, ou sous-méthode de l'isolement, ayant

pour but de mettre les parties malades à l'abri du milieu ambiant, en un mot, de les isoler le plus possible par des appareils spéciaux de tout ce qui les environne et qui pourrait leur nuire;

La seconde, ou sous-méthode de l'entraînement, consistant dans l'expulsion et le rejet au dehors, d'une manière constante ou intermittente, des liquides et produits septiques baignant les plaies et sécrétés par leurs surfaces;

Et enfin la troisième, ou sous-méthode de la neutralisation, consistant dans l'emploi des agents chimiques antiseptiques, propres à détruire et annihiler sur place les éléments morbides ou fluides putrides existant à l'intérieur ou à la surface des plaies.

Grâce aux recherches du laboratoire et aux observations de la clinique, la chirurgie put alors disposer de méthodes antiseptiques de plus en plus pratiques. Le sublimé, le phénol, l'iodoforme, le salol, furent employés pour réaliser l'asepsie et l'antisepsie des pièces de pansement. LUCAS-CHAMPIONNIÈRE donna la formule d'une poudre, dite « poudre absorbante antiseptique », qui fut longtemps employée dans le traitement des plaies suppurantes où elle donnait d'excellents résultats. La composition de cette poudre était la suivante :

Iodoforme pulvérisé.	100 r	»
Quinquina gris pulvérisé.	100	»
Benjoin pulvérisé.	100	»
Carbonate de magnésie tamisé . . .	12	50
Essence d'eucalyptus	12	50

Ainsi, petit à petit, est-on arrivé aux méthodes

antiseptiques actuelles. Mais, avant d'entreprendre l'étude de celles-ci, il serait injuste de ne pas dire quelques mots, car ils font date dans l'histoire de l'antisepsie, du pansement occlusif ouaté de Guérin et du pansement antiseptique à l'acide phénique de Lister.

Le pansement institué par Alphonse Guérin est une application immédiate des principes formulés par Pasteur et rappelés brièvement plus haut. Il consistait, après réunion de la plaie, à recouvrir celle-ci de plaques d'ouate blanche, bien fine, disposées en couches successives et maintenues finalement au moyen de compresses et de bandelettes circulaires de toile. Le tout devait être recouvert d'une toile gommée. La plaie se trouvait ainsi dans les mêmes conditions qu'un liquide dont les germes ont été détruits par l'ébullition et qui ne reçoit plus l'air qu'à travers un tampon d'ouate.

Le procédé inauguré et inventé par Lister, tout en supprimant le pansement ouaté, n'en demeure pas moins un procédé basé sur l'occlusion des plaies. Toutefois, il s'y ajoute l'action de substances antiseptiques mises au contact immédiat des tissus.

Avant l'opération, Lister s'entourait de précautions inusitées et inconnues avant lui. Tous les instruments dont il devait se servir étaient soumis à des lavages antiseptiques de phénol ou de thymol ; les linges à pansement étaient imbibés des mêmes liquides et, avant l'opération, des vapeurs phéniquées ou thymolées étaient répandues dans l'atmosphère confinant aux parties sur lesquelles Lister voulait opérer. Après l'opération, il réunissait les plaies à l'aide de

bandelettes de taffetas agglutinatifs phéniqués ou thymolés qu'il recouvrait de plusieurs couches ou bandes de mousselines ou gazes antiseptiques, et par-dessus le tout il appliquait, soit une baudruche, soit une toile gommée, également antiseptique.

Dans de telles conditions, les parties malades étaient complètement isolées des milieux ambiants et à l'abri de toute chance d'infection.

Telles sont, rapidement esquissées, les grandes étapes de l'histoire de l'antisepsie, ainsi que les principales méthodes employées, avant cette guerre, dans le traitement des plaies.

COUP D'ŒIL D'ENSEMBLE SUR LES MÉTHODES ANTISEPTIQUES EMPLOYÉES OU RÉCEMMENT PROPOSÉES

Nombreux sont les antiseptiques qui ont été proposés au cours de cette guerre. A l'heure actuelle, un certain nombre de méthodes sont préconisées et employées chaque jour par nos chirurgiens.

Nous allons jeter un coup d'œil rapide sur l'ensemble de ces méthodes. Les unes sont nouvelles, d'autres au contraire empruntent leurs principes actifs à des antiseptiques déjà usités avant la guerre

Danysz fait usage de solutions de nitrate d'argent à 1 pour 200.000 et même à 1 pour 300.000, qui désinfectent et favorisent le tissu de cicatrisation des plaies.

Ombredanne a très justement recommandé pour les plaies gangréneuses le pansement à l'éther.

Lematte emploie l'essence de térébenthine, qui est antiseptique et leucocytogène.

Liquide A (teinture).

Essence de térébenthine	0gr10
Fuchsine.	10 »
Alcool à 90°	10 »
Éther	10 »

Liquide B (sérum térébenthiné).

Essence de térébenthine.	1gr50
Chlorure de sodium	8 »
Eau bouillie.	1 litre

Agiter et filtrer.

Le liquide B sert à laver la plaie ; le liquide A à la badigeonner ensuite.

Dionis du Séjour emploie aussi la solution térébenthinée pour les plaies contuses et très infectées; il lave avec :

Essence de térébenthine	15 gr.
Alcool saponiné à 95°	15
Eau distillée	1 litre

Mortier et Desnoix recommandent les lavages avec le liquide antiseptique suivant :

Eau oxygénée	500 gr.
Alcool à 90°.	430
Tannin	5
Teinture de cannelle	15
Glycérine	50
Teinture d'aloès	1

Pour éviter l'adhérence douloureuse de la gaze sur les plaies et pour ne pas entraver la kératinisation, les auteurs pansent en disposant une compresse paraffinée sur les tissus. Ces compresses sont trempées dans un bain chaud de :

Paraffine	125 gr.
Vaseline	20

On les retire, on les ouvre et on les stérilise dans des boîtes.

Dakin vante les substances chlorées : 200 grammes de chlorure de chaux, mêlés à 10 litres d'eau dans laquelle 140 grammes de carbonate de soude ont été dissous. C'est la méthode Carrel sur laquelle nous aurons à revenir dans un instant.

Bilhaut emploie la solution phéniquée forte de Lister 5 °/₀, l'huile de naphte, la poudre de Vincent (chlorure de calcium et acide borique) (Voir p. 65).

Leblond fait usage de l'huile phéniquée à 5 °/₀.

Dupuy injecte par le drain, toutes les deux heures, quelques centimètres cubes du mélange :

Alcool	450 gr.
Éther.	450
Teinture d'iode	100

Un grand nombre de chirurgiens ont aussi obtenu de bons effets de l'héliothérapie.

Enfin il est une méthode instituée par Mencière, dont nous aurons à parler, qui consiste à embaumer les plaies de guerre avec une solution à base de gaïacol et d'eucalyptol (Voir p. 48).

Lacapère et Lenormand ont préconisé l'arséno-benzol pour le traitement de certaines plaies ; c'est ainsi que sur quatre cas de gangrène par gelure, trois résultats furent positifs. La désinfection, la désodorisation et le nettoyage des plaies ont été obtenus en quelques jours, alors que le pansement à l'eau oxygénée préalablement employé était resté sans effet.

Depage a indiqué le chlorure de zinc à 10 °/₀ en lavages et pansements humides répétés à vingt-quatre heures d'intervalle. Il y a analogie entre l'action de ce composé chimique et celle de l'air chaud, mais le chlorure de zinc pénètre mieux dans les anfractuosités. Il se forme une escarre sous laquelle on trouve quelques jours plus tard un bourgeonnement intense. Il présente cependant un danger, celui de cautériser les vaisseaux et de donner naissance à des hémorragies secondaires.

Pour Morestin, le débridement ne suffit pas à sauver constamment le blessé. Le formol est un moyen complémentaire auquel on peut s'adresser avec confiance dans les mauvais cas ; on mêle, en proportions égales, de la glycérine, de l'alcool et du formol du commerce. L'emploi du mélange formolé a permis dans des cas divers de juguler des suppurations extrêmement graves de gangrènes gazeuses.

Kenneth Taylor a indiqué le chlorhydrate de quinine. D'après lui il ne déterminerait pas de lésions irritantes des tissus à la concentration de 2,5 °/₀. Il produit une légère anesthésie locale, jamais de symptômes toxiques.

Broca se sert d'acide phénique à 5 °/₀ et saupoudre la plaie avec du lactose qui agit comme désodorisant

VENNIN, GIRODE et HALLER font l'éloge de l'eau oxygénée et surtout de l'oxygène (eau oxygénée en lavage minutieux et oxygène en injection interstitielle).

DELBET prétend que les injections de gaz, oxygène ou eau oxygénée décollent le tissu cellulaire, font craquer les alvéoles ; elles le traumatisent et ce traumatisme est capable, dans le cas de gangrène gazeuse, de favoriser le développement du *Bacillus perfringens* (un des agents de la gangrène gazeuse).

En réalité, il semble que l'on doive considérer les injections d'oxygène ou d'eau oxygénée comme le complément des débridements ; sinon, QUENU les considère comme très dangereuses.

QUENU, pour les plaies de guerre gangréneuses, après débridement, stérilise à l'air chaud avec l'appareil de Gaiffe et atteint des températures de 500 à 600°.

Dans une communication à l'Académie de Médecine, G. DUCHESNE a préconisé l'emploi d'une mixture oléo-éthérée pour panser les plaies de guerre. Préoccupé d'éviter le double inconvénient de la douleur et du traumatisme des bourgeons, il a cherché à réaliser un pansement qui fût tout à la fois indolore, suffisamment antiseptique et énergiquement cicatrisant. Il s'est arrêté à la formule suivante :

Camphre.	5 gr.
Goménol.	25
Baume du Pérou	10
Éther sulfurique	560 cm³
Huile (de vaseline ou d'amandes). .	500

G. DUCHESNE recommande cette préparation pour

le pansement des plaies, dont la cicatrisation, d'après ses dires, s'opère avec une rapidité incontestable. De plus, les blessés s'accorderaient à reconnaître que ce mode de pansement est très agréable.

Nous terminons ici cette revue rapide en nous excusant auprès du lecteur d'avoir dû être aussi bref sur une question qui exigerait un volume considérable pour être entièrement développée.

Voici maintenant les méthodes issues des enseignements pratiques de cette guerre qui pour le moment semblent planer, par le grand nombre de cures excellentes obtenues, au-dessus de la totalité des méthodes plus ou moins efficaces résultant du groupement quotidien des efforts de chacun depuis bientôt trois ans, à l'ambulance comme à l'hôpital.

MÉTHODES ANTISEPTIQUES PRÉCONISÉES PENDANT LA GUERRE

MÉTHODE CARREL

Parmi les méthodes de traitement des plaies infectées préconisées au cours de la guerre actuelle, celle à laquelle le Dr Alexis CARREL a attaché son nom restera une des meilleures.

La méthode de CARREL est purement antiseptique. Son but essentiel est de réaliser une stérilisation chimique aussi complète que possible de la plaie, et cette stérilisation est obtenue grâce à l'instillation continue ou intermittente, dans toutes les anfractuosités, d'un liquide antiseptique amené à l'aide de petits tubes de caoutchouc. Ce liquide antiseptique est, en l'occurrence, l'hypochlorite de soude de DAKIN. Mais avant de l'employer, CARREL et ses collaborateurs se livrèrent à une série de recherches sur les antiseptiques, afin de trouver parmi ces substances celle qui, tout en ayant un pouvoir microbicide aussi grand que possible, ne gênerait en aucune façon la cellule vivante.

LA SOLUTION DE DAKIN

A la suite de ces recherches, l'hypochlorite de soude, déjà connu pour ses propriétés bactéricides, se révéla comme étant capable de produire la stérilisation d'un milieu à des doses relativement faibles. Mais, comme les solutions habituellement employées d'hypochlorites, telles que l'eau de Javel et la liqueur de LABARRAQUE, sont irritantes pour les tissus, chez lesquels elles peuvent amener des lésions graves, DAKIN chercha à diminuer le pouvoir irritant de ces solutions sans modifier leur action antiseptique. Pour ce faire, comme il avait été reconnu que l'alcali libre, toujours existant dans les solutions d'hypochlorite, était cause de l'action irritante de celles-ci, DAKIN ajouta à l'hypochlorite de soude une proportion d'acide borique capable de neutraliser l'alcali susceptible de se former.

Ainsi rendue non toxique pour les tissus sains, la solution d'hypochlorite de soude de DAKIN conserve *in vitro*, ainsi que l'a démontré DAUFRESNE, un pouvoir germicide élevé. En outre, l'application au traitement des plaies suppurantes, de la même solution, amène rapidement la disparition des microbes qu'elles renferment.

D'autre part, A. LUMIÈRE a montré, par des expériences faites sur des cobayes, que la solution de DAKIN détruisait les toxines contenues dans un pus et sécrétées par les microbes. Cette même solution, administrée à des cobayes en injections sous-cutanées, ne modifiait en rien l'état général de ceux-ci.

Toutefois il ne faudrait pas inférer de ce résultat que le liquide de DAKIN est d'une innocuité totale pour l'organisme entier. Vis-à-vis du sang, il est fortement hémolytique, c'est-à-dire qu'il produit rapidement la destruction des globules rouges ; ce serait donc courir aux pires accidents que d'en pratiquer l'injection intra-veineuse. Et il importe d'examiner soigneusement l'état des vaisseaux sanguins et de pratiquer l'hémostase préventive exacte au moment d'une intervention, quand on se propose d'appliquer la méthode CARREL. Mais, cette propriété hémolytique mise à part, la solution de DAKIN nous apparaît comme grandement microbicide, antitoxique vis-à-vis des poisons microbiens et relativement peu nocive pour les tissus cellulaires superficiels et sous-cutanés.

DAKIN fit connaître dans une communication à l'Académie des Sciences la technique qu'il suit pour la préparation de sa solution. La voici :

« 140 grammes de carbonate de soude sec ou 400 grammes de sel cristallisé sont dissous dans 10 litres d'eau ordinaire, et 200 grammes de chlorure de chaux de bonne qualité y sont ajoutés. Le mélange est bien agité et, au bout d'une demi-heure, le liquide clair est séparé par siphonage du précipité de carbonate de chaux et filtré à travers du coton. On ajoute au filtrat 40 grammes d'acide borique, et la solution ainsi obtenue peut être employée directement ; elle ne colore pas la phtaléine en suspension dans l'eau. »

Mais la solution de DAKIN, ainsi préparée, montra bientôt, par l'expérience, quelques inconvénients. DAUFRESNE prouva, en effet, que le chlorure de chaux

qui entre dans la préparation de cette solution était d'une composition tout à fait inégale quant à sa teneur en chlore actif et que, se prenant en masse sous l'action de l'humidité, il se désagrégeait plus ou moins bien au moment de son agitation avec la solution de carbonate de soude et n'abandonnait ainsi qu'une partie de son hypochlorite. D'autre part, **Daufresne** attribua aux quantités, parfois élevées, d'acide borique employées pour la neutralisation de l'hypochlorite, certains phénomènes d'irritation observés dans le traitement des plaies par la liqueur de **Dakin**. Enfin, cette liqueur, préparée suivant la technique indiquée par son auteur, s'est toujours montrée de mauvaise conservation.

C'est pour ces raisons multiples que Daufresne fut amené à modifier la technique de Dakin, afin de remédier aux inconvénients résultant de l'application de cette dernière.

Après de nombreux essais, **Daufresne** s'arrêta au procédé suivant :

1° Pour préparer 10 litres de solution, peser exactement :

Chlorure de chaux (à 25 % de chlore actif) . .	184 gr
Carbonate de soude sec (Solvay).	92
(ou, à défaut, carbonate de soude cristallisé 262)	
Bicarbonate de soude	76

2° Introduire dans un flacon de 12 litres les 184 grammes de chlorure de chaux et 5 litres d'eau ordinaire ; agiter fortement à deux ou trois reprises et laisser en contact une nuit ;

3° Faire dissoudre à froid dans 5 litres d'eau le carbonate et le bicarbonate de soude;

4° Verser en une seule fois la solution des sels de soude dans le flacon contenant la macération de chlorure de chaux, agiter fortement pendant une minute et laisser reposer pour permettre au carbonate de chaux de se déposer;

5° Au bout d'une demi-heure, siphonner le liquide clair et le filtrer avec un double papier pour obtenir un produit parfaitement limpide qui devra être conservé au frais et à l'abri de la lumière.

Telle doit être la préparation de la solution de DAKIN suivant la technique indiquée par DAUFRESNE. Une pareille solution doit contenir 0,475 °/₀ d'hypochlorite de soude, avec de petites quantités de sels de soude neutralisés. Elle ne renferme pas de soude caustique, grâce au bicarbonate de soude qui en entrave la formation; enfin, elle ne s'altère que très lentement si on a soin de la conserver à l'abri de la lumière.

C'est grâce à cette solution que CARREL réalise la stérilisation chimique des plaies de guerre. Mais, avant de procéder à cette stérilisation, il prépare la pénétration du liquide par une intervention chirurgicale et par le nettoyage mécanique de la plaie. Cette intervention ne diffère que par quelques détails des techniques généralement adoptées aujourd'hui. Elle varie suivant la période à laquelle se trouve la plaie, c'est-à-dire suivant que celle-ci n'est pas encore ou est en pleine infection, ou bien est en suppuration. Par exemple, dans les plaies en période pré-inflammatoire, CARREL, après avoir examiné cliniquement et

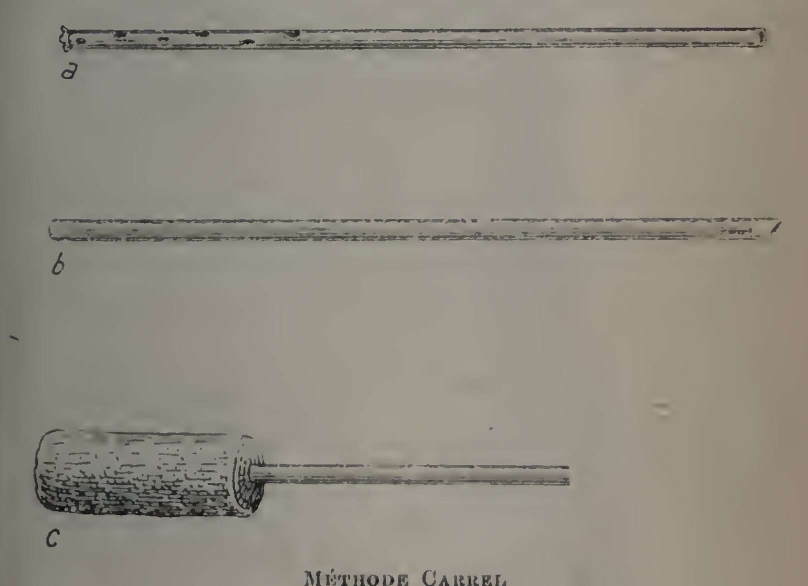
radiologiquement la blessure, procède à l'anesthésie générale sous l'éther. Puis, ayant stérilisé la peau à l'aide de teinture d'iode, il débride aussi largement que possible la plaie, enlève, à l'aide de l'instrument tranchant, la peau qui borde l'orifice, le tissu cellulaire sous-cutané souillé de débris de vêtements et souvent infiltré de sang et le trajet musculaire incrusté de corps étrangers. L'hémostase est ensuite assurée exactement et le projectile est recherché à l'aide d'appareils électromagnétiques appropriés. Il est alors procédé à l'extraction du projectile et des débris vestimentaires, et le nettoyage de la plaie est complété en la savonnant, ainsi que la peau voisine, à l'aide d'oléate de soude neutre. Il convient enfin d'assurer le drainage de la plaie aussi largement que possible. Mais, ici, Carrel opère par un procédé différent de celui habituellement employé et qui consiste à pratiquer une contre-ouverture au point déclive. Il se contente d'ouvrir très largement la plaie par une ou plusieurs longues incisions faites autant que possible à la partie antérieure du membre. Les ouvertures ainsi faites sont maintenues béantes à l'aide de compresses appliquées à l'ouverture de la plaie ou de segments de très gros tubes de caoutchouc. Jamais compresses ou tampons ne sont placés dans l'intérieur de la plaie.

Ainsi nettoyée mécaniquement, la plaie va être soumise à l'action stérilisante de la liqueur de Dakin, afin d'amener la disparition des microbes qui la souillent.

STÉRILISATION CHIMIQUE DES PLAIES

L'hypochlorite de soude, au contact des tissus et par suite des réactions chimiques qui se produisent entre lui et les substances albuminoïdes les constituant, se décompose peu à peu et perd finalement tout son chlore actif. De sorte qu'à un moment donné, la liqueur de DAKIN, maintenue trop longtemps au contact d'une plaie, n'aurait plus aucune efficacité.

Pour obvier à cet inconvénient, CARREL, grâce à de



MÉTHODE CARREL
Fig. 1. — Tubes adducteurs en caoutchouc.

petits tubes de caoutchouc, renouvelle constamment le liquide instillé dans toutes les parties de la plaie. C'est donc à une véritable irrigation de celle-ci qu'il procède, à l'aide de la solution de DAKIN, et cette der-

nière, après avoir été absorbée par le pansement, s'évapore finalement.

Pour réaliser cette irrigation, Carrel utilise des tubes adducteurs et des appareils injecteurs. Les tubes adducteurs sont en caoutchouc rouge. Leur paroi a une épaisseur de 1 millimètre et leur diamètre intérieur est de 4 millimètres. Ils sont donc résistants et flexibles, ce qui leur permet de pénétrer dans toutes les anfractuosités des plaies et de résister de façon suffisante à la pression des muscles et du pansement. Ces tubes peuvent être employés sous trois formes différentes : ou ils sont percés de petits trous, au nombre de huit environ par 5 centimètres, et ont 30 à 40 centimètres de long (fig. 1, *a*), ou ils ne présentent qu'une seule ouverture latérale à leur extrémité (fig. 1, *b*), ou enfin ils sont percés de petits trous sur une longueur variable, la partie perforée étant recouverte d'une gaine de tissu éponge solidement cousue au tube (fig. 1, *c*).



Méthode Carrel

Fig. 2. — Tubes distributeurs.

Les tubes perforés sont réunis par groupes de deux, trois ou quatre, à des tubes distributeurs en verre de Gentile (fig. 2).

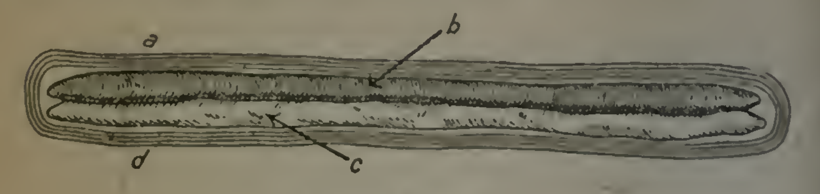
Les appareils injecteurs se composent essentiellement :

1° D'une ampoule en verre de 1 litre de capacité, percée à sa partie inférieure d'un orifice de 7 millimètres de diamètre et qui doit être placée à une hauteur de 50 centimètres à 1 mètre au-dessus du plan du lit ;

2° D'un tube irrigateur en caoutchouc, d'un diamètre intérieur de 7 millimètres, de 1m50 à 2 mètres de long et muni ou non d'un appareil compte-gouttes suivant qu'on se propose de pratiquer soit une instillation continue, soit une instillation intermittente. Ce tube est destiné à relier l'ampoule de verre aux tubes distributeurs. Il est muni, à 10 centimètres au-dessous de l'ampoule, d'une pince de Mohr à ressort permettant l'ouverture ou l'obturation.

La disposition des tubes adducteurs dans la plaie est très importante : d'elle dépend, en effet, bien souvent, la réussite de la stérilisation. Il importe avant tout que le liquide de Dakin puisse se répandre facilement sur toute la surface de la plaie. Et comme il est essentiel que l'antiseptique soit au contact même des tissus, les tubes ne doivent pas être appliqués sur de la gaze ou sur des mèches, mais directement sur la plaie. En outre, la disposition des tubes variera suivant la forme et suivant l'état d'infection de la plaie. Dans ce dernier cas, notamment, il importera, lorsqu'on aura affaire à des plaies fraîches, de ne pas employer de tubes perforés. De telles plaies, en effet, saignent presque toujours, et si on y applique un tube perforé, celui-ci se remplit de sang qui peu à peu se coagule et finalement oblitère le tube. Par contre,

dans les plaies suppurantes, il faudra bien se garder de se servir de tubes entourés de tissu éponge, car celui-ci se saturerait bien vite de pus.



MÉTHODE CARREL

Fig. 3. — Feuille de pansement.

a, d, gaze; *b,* coton hydrophile; *c,* coton cardé.

Aussitôt que les tubes sont placés, on applique sur la plaie quelques compresses de gaze imprégnées de solution de DAKIN et on protège la peau voisine par des carrés de gaze stérilisée dans de la vaseline. On termine par une feuille de pansement (fig. 3) composée d'une feuille de gaze, d'une feuille de coton hydrophile, d'une feuille de coton cardé et d'une autre feuille de gaze. Le côté où se trouve le coton hydrophile est appliqué sur la plaie, de telle sorte que les sécrétions soient absorbées, sans pouvoir s'écouler facilement à l'extérieur à cause de la présence du coton non absorbant. Cependant l'évaporation se fait très facilement à travers cette couche presque étanche. Jamais il ne faut employer d'imperméable. L'application du pansement est rapide (fig. 4). On place la partie moyenne de la plaque de coton sous le membre et on rabat les deux côtés sur la face antérieure du membre par deux ou trois épingles de sûreté. Au moment de l'application du pansement, on donne dans la feuille d'ouate les coups de ciseaux

nécessaires pour que les tubes de caoutchouc puissent facilement sortir à l'extérieur.



MÉTHODE CARREL
Fig. 4. — Application du pansement (d'après CARREL).

Lorsque les tubes irrigateurs ont été réunis au tube distributeur en verre, on fixe celui-ci en pinçant sa partie la plus large dans une grosse épingle de sûreté attachée elle-même au pansement. Puis on unit la grosse extrémité du tube distributeur au tube irrigateur venant de l'ampoule.

Le pansement étant ainsi réalisé, il est alors possible de procéder à l'irrigation. Celle-ci n'est que rarement continue, car elle ne convient qu'aux plaies où le liquide peut stagner ou bien aux petites plaies pour lesquelles un seul tube adducteur entouré de tissu éponge suffit. Le débit est réglé à l'aide d'une pince à vis interposée entre l'ampoule et le compte-gouttes, de façon à permettre le passage de cinq à six gouttes par minute.

C'est l'instillation intermittente qui est appliquée dans la plupart des cas. Elle se fait en appuyant toutes

les deux heures, pendant quelques secondes, sur la pince de MOHR qui se trouve sur le tube irrigateur. La quantité de solution ainsi injectée varie, suivant les cas, de 20 à 100 centimètres cubes et parfois davantage. La seule règle à observer, c'est que la plaie soit maintenue constamment humectée et que le malade ne soit cependant pas mouillé.

Quelle doit être la durée de l'instillation? Elle doit se faire jour et nuit, sans interruption, jusqu'à disparition complète des microbes de la plaie. D'après CARREL, il faut, en général, de trois à dix jours pour stériliser une plaie des parties molles et de dix à quinze jours et davantage pour stériliser un foyer de fracture. L'observation clinique de la plaie ne suffit pas pour donner avec certitude la connaissance de son état : elle permet seulement de présumer de celui-ci. Il importe, pour CARREL, de voir, par des examens bactériologiques, si la plaie se stérilise progressivement sous l'action de la solution antiseptique. A cet effet, tous les deux ou trois jours, il pratique, dans les endroits les plus suspects de la plaie, des prises de sécrétions, à l'aide d'un fil de platine rigide. Ces prises sont étalées en frottis sur des lames de verre, fixées par la chaleur, puis colorées. Les frottis sont alors portés sous le microscope, et une dizaine de champs en sont examinés, dans chacun desquels on compte les microbes.

L'état bactériologique de la plaie est alors exprimé par un rapport où le numérateur représente le nombre de microbes observés et le dénominateur le nombre de champs examinés.

En suivant cette technique, le moment de la dis-

parition des microbes est indiqué d'une façon suffisamment précise. Et lorsque les sécrétions recueillies en des régions différentes d'une plaie ne contiennent pas plus d'un microbe par cinq ou dix champs, CARREL considère la plaie comme chirurgicalement stérile.

FERMETURE DES PLAIES

Lorsque le chirurgien a ainsi la preuve que la plaie ne contient plus de microbes, alors, seulement, il peut procéder à sa fermeture.

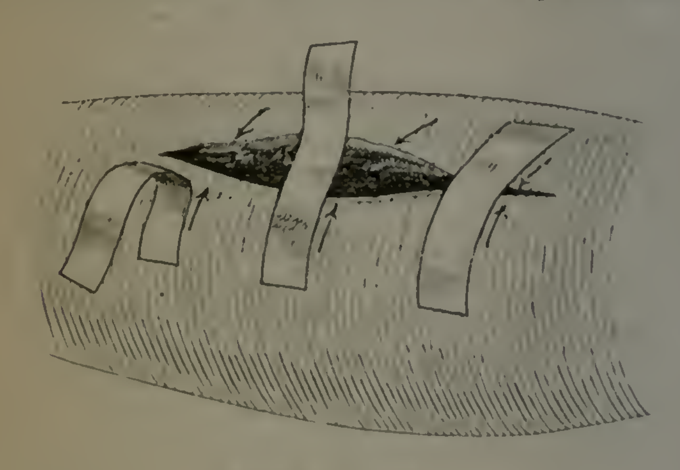
Pour CARREL, la fermeture primitive des plaies doit être écartée, en raison des dangers qu'elle risque de faire courir au blessé. Car, même après avoir réalisé un nettoyage mécanique aussi complet que possible, même lorsque les frottis faits avec les liquides recueillis dans la plaie fraîche se sont montrés négatifs, on ne peut en inférer qu'il n'y a pas de germes, puisque nous savons que, dans de telles plaies, ce n'est que vers la douzième heure que se produit la pullulation microbienne. De telle sorte que fermer primitivement une plaie, c'est fort probablement enfermer à l'intérieur des germes qui n'ont pas encore eu le temps de se développer et qui, lorsqu'ils se réveilleront, causeront les pires désastres.

Par contre, la fermeture secondaire d'une plaie peut se faire dans des conditions telles qu'elle ne présente aucun danger.

En général, l'époque moyenne de la fermeture des plaies varie entre le huitième et le douzième jour. Quelques plaies peuvent être réunies vers le cinquième

ou le sixième jour. Enfin, certaines plaies, compliquées de fracture, ne doivent pas être refermées avant le vingtième ou le trentième jour du traitement. Suivant les cas, CARREL referme les plaies à l'aide de bandelettes adhésives, ou de fils élastiques, ou de sutures.

Le rapprochement des bords de la plaie avec des



MÉTHODE CARREL

Fig. 5. — Rapprochement des bords d'une plaie par bandelettes adhésives.

bandelettes adhésives peut se faire tant que la cicatrisation spontanée n'est pas commencée et que la peau glisse facilement sur les plans profonds. Les bandelettes ont de 4 à 5 centimètres de largeur sur 20 à 23 centimètres de longueur. Comme elles ne sont pas stériles, il faut éviter qu'elles n'entrent en contact avec la surface cimentée des plaies, et il est nécessaire de protéger la ligne de réunion par un ruban de papier ou de colophane stérilisée. Après avoir rasé et bien séché la peau qui avoisine la plaie, on rapproche les bords de celle-ci et on les maintient exactement en

présence par plusieurs bandelettes appliquées perpendiculairement à la direction de la plaie (fig. 5). Au bout d'une huitaine de jours les bandelettes sont enlevées et on trouve la plaie réunie.

Lorsqu'on ne peut rapprocher les lèvres de la plaie et qu'il existe une vaste perte de substance, il est nécessaire de recourir à la traction élastique. A cet effet, de chaque côté de la plaie et parallèlement à elle, on colle une bandelette adhésive, large de 7 à 8 centimètres et d'environ 10 centimètres plus longue que la plaie. Chacune de ces bandelettes est munie sur un bord de crochets de soulier. On unit alors les crochets des deux bandelettes à l'aide d'une lanière de caoutchouc dont on règle la tension de façon convenable. Sous l'action de l'élasticité du caoutchouc, les lèvres de la plaie se rapprochent progressivement.

Le même procédé peut être appliqué à la fermeture des moignons.

Enfin, lorsque les bandelettes ne peuvent être employées, notamment dans les cas où la stérilisation de la plaie n'a pu être achevée qu'après le douzième jour, il est nécessaire de pratiquer la suture à l'aide de catgut. Celle-ci doit toujours se faire sous anesthésie et constitue, dans les plaies profondes, une véritable intervention chirurgicale.

Telle est, dans ses grandes lignes, la méthode de traitement des plaies infectées instituée par le Dr Alexis Carrel. Appliquée intégralement, suivant la technique décrite par son auteur, elle a donné d'excellents résultats. Ceux que Carrel a observés lui-même à Compiègne lui ont permis de dire que la suppura-

tion des plaies pouvait être supprimée, et que la plupart des blessures étaient susceptibles d'être stérilisées et suturées.

Dans son ouvrage sur *Le Traitement des plaies infectées,* Carrel a rapporté un grand nombre d'observations faites au cours de l'application de sa méthode.

Nous terminerons notre bref exposé de celle-ci en reproduisant deux de ces observations :

Le blessé 465 avait reçu un gros éclat d'obus qui avait traversé la face antérieure de la cuisse, en sectionnant presque complètement le quadriceps fémoral. Trois heures et demie après la blessure, on débrida la plaie et on enleva les corps étrangers et le tissu musculaire déchiqueté. Il en résulta une très vaste plaie longue de plus de 10 centimètres et s'étendant d'un côté à l'autre de la cuisse. Au bout de sept jours, cette plaie était chirurgicalement stérile. On pratiqua alors une suture exacte du quadriceps au catgut et on referma la peau. La réunion se fit par première intention et, peu de temps après, le blessé marchait normalement.

Le blessé 340, atteint de blessures multiples par éclats d'obus, fut opéré au bout de dix-neuf heures. Les plaies qu'il présentait sur les cuisses et les jambes furent débridées largement, les éclats d'obus enlevés et des tubes instillateurs placés dans les trajets. Trois des blessures évoluèrent normalement et furent refermées le neuvième jour. La quatrième, située à l'extrémité inférieure de la cuisse droite, détermina une complication grave. Le projectile avait atteint une veine du creux poplité et déterminé une infiltration

sanguine de tout le tissu cellulaire du mollet. Cet hématome était resté inaperçu au moment de l'intervention. Mais, au bout de vingt-quatre heures, la température atteignait 40°. Le mollet et le creux poplité étaient violacés et très douloureux. On incisa alors la région enflammée depuis le creux poplité jusqu'au tiers inférieur de la jambe. Au bout de onze jours, la grande plaie était devenue stérile et la température était descendue de 40° à 37°. On appliqua alors sur les bords de la plaie une traction élastique, car les tissus s'étaient trop rétractés pour qu'on pût en pratiquer immédiatement la réunion ; sous l'influence de la traction élastique, les bords de la plaie se rapprochèrent progressivement et s'unirent trois jours plus tard, c'est-à-dire vingt et un jours après la blessure. La stérilisation s'était effectuée plus lentement que dans une plaie ordinaire. Cependant, elle devait être considérée comme rapide, étant données la gravité et l'étendue de l'infection.

MÉTHODE MENCIÈRE

La méthode Mencière ne donne pas seulement un pansement d'attente. Elle est applicable à la fois à l'ambulance et à l'hôpital. A l'ambulance elle permet de faire un pansement d'attente au milieu des pires difficultés, pendant les encombrements inévitables un jour de bataille. C'est une méthode qui s'adapte fort bien aux conditions de la lutte ; elle rend de grands services durant les étapes successives que parcourt le blessé avant d'être hospitalisé : ambulance de première ligne, ambulances et hôpitaux de la zone des étapes. A l'hôpital de l'arrière elle est d'une efficacité incontestable.

Méthode type. — La méthode type, celle sur laquelle insiste l'auteur, se pratique à l'ambulance de première ligne si on en a le temps, car il est préférable de traiter le blessé aussitôt que possible. Mais elle est encore applicable dans les *six* et *vingt-quatre* premières heures avec toutes chances de succès dans les ambulances et les hôpitaux de la zone des étapes à 15 et 20 kilomètres de la ligne de feu.

Planche I



Méthode Mencière
Macération des tissus.



MÉTHODE MENCIÈRE

Pulvérisation à l'aide de la solution embaumante.

La méthode Mencière, dite embaumement méthodique, consiste :

1° A pratiquer un large débridement de la plaie, un nettoyage méticuleux des tissus attrits, l'extraction du projectile, l'incision au point déclive (Chassaignac), le lavage de la plaie à l'eau Mencière ;

2° A soulever les rebords de la plaie avec des pinces de Kocher et, dans les « puits » ainsi formés, à verser avec une pissette (Pl. I) la solution Mencière qui pendant quatre à six minutes va « macérer », embaumer, pénétrer les tissus, tuant les bactéries, rendant imputrescibles « les tissus attrits », foyer de développement microbien. Un pulvérisateur embaume les tissus qui émergent sur les plaies en surface (Pl. III).

Ce pansement est renouvelé toutes les vingt-quatre heures, sauf dans les cas graves (tissus gangréneux, blessés de quarante-huit heures, de quatre jours) où le pansement est refait toutes les douze heures pendant deux ou trois jours.

Le mieux, certes, serait de conserver les blessés pendant quelques jours aux ambulances ; mais il peut y avoir encombrement au moment d'une bataille.

Grâce à la stabilité des principes actifs à formule chimique déterminée renfermés dans le liquide Mencière, il est permis de faire au blessé un pansement efficace durant vingt-quatre à quarante-huit heures et rendant facile son transport vers une autre formation.

Voici quelques résumés d'observations d'embaumement d'attente que nous donnons à titre d'exemples.

I

S..., Marius. Blessé le 6 juin 1915. Entré dans la nuit du 6 au 7. Opéré le 9.

Plaie par balle, en séton, de l'articulation tibio-tarsienne droite.

Dès l'entrée, embaumement d'attente avec solution et seringue de verre.

Cette plaie grave a peu ou pas réagi pendant trois jours, permettant ainsi de pratiquer un embaumement méthodique dans de bonnes conditions, même le troisième jour. Évacué le 14.

II

D..., Eugène. Blessé le 5 juin 1915. Entré le 6 au matin.

Éclat d'obus cuisse gauche (*Bacillus perfringens*).

Embaumement d'attente dès l'entrée. Grande cavité d'attrition.

Opération et embaumement méthodique pratiqués le 6 juin dans la soirée. Évacué le 10 juin.

III

B..., François.

Plaies des deux pieds par minenwerfer; broiement du pied gauche; plaie profonde, contuse, souillée, occupant la face dorsale.

Blessé le 28 juin 1915. Entré le 30 juin.

Embaumement avec la seringue, dès l'arrivée.

Opéré le 3 juillet. On retire des clous de soulier et la valeur de deux cuillerées de terre.

L'embaumement d'attente, bien que pratiqué tardivement, a donc pu entraver les cultures microbiennes pendant plusieurs heures dans un cas très défavorable.

Ce procédé d'embaumement d'attente, employé dans l'armée du médecin inspecteur général Nimier pendant la bataille de la Somme, a donné également les meilleurs résultats.

Un jour d'affolement, d'encombrement intense dans nos ambulances quand, par suite de la guerre de mouvement, celles-ci se déplacent, l'embaumement d'attente permet, comme *pis aller* (car ce qu'il faut faire, c'est l'embaumement méthodique après incisions, mèches non tassées et large drainage), de faire un pansement préparatoire à un acte chirurgical obligatoirement différé.

Mais, bien entendu, cet acte chirurgical suivi d'embaumement méthodique doit être pratiqué le plus rapidement possible.

Voici la méthode telle que l'auteur l'a simplifiée pour l'ambulance.

Les plaies de guerre auxquelles elle s'adresse possèdent généralement toute la collection des microbes.

En associant quatre antiseptiques : iodoforme, gaïacol, eucalyptol, baume du Pérou, on arrive à détruire tous les germes : spores, bactéries aérobies ou anaérobies.

Sous un très petit volume on peut emporter une quantité considérable de pansements avec des produits tout à fait stables.

En voici un exemple pour une ambulance :

On prend cent paquets d'iodoforme de 10 grammes.

On emporte aussi un récipient en aluminium de 3 litres de mélange concentré : gaïacol, eucalyptol, baume du Pérou, qui donnent 100 litres de solution permettant d'exécuter de 3.300 à 20.000 pansements, suivant la technique employée (deux cuillerées à soupe pour 1 litre de véhicule ; chaque pansement revient de 3 à 9 centimes).

Un deuxième bidon de 3 litres de *solution mère :* acide benzoïque et gaïacol (deux cuillerées à café pour un litre d'eau), permet de préparer 300 litres d'eau antiseptique pour le lavage des mains, des instruments, des plaies et au besoin pour les pansements.

Les produits étant stables, n'importe qui, médecin ou simple infirmier même, peut, étant donnée la constitution des *solutions mères,* faire la préparation instantanée du produit Mencière.

A l'hôpital, la « méthode conservatrice en chirurgie de guerre, telle qu'elle découle de la pratique de l'embaumement et de la phénolisation », a été appliquée au traitement de grandes blessures de guerre : attrition des membres avec gangrène gazeuse, vastes plaies salies de boue, fractures comminutives, délabrement avec ou sans suppuration des articulations du cou-de-pied, du genou, de la hanche, de l'épaule, etc., etc.

La technique de l'auteur consiste, suivant les cas, à pratiquer d'emblée l'embaumement de la plaie ou la phénolisation de la plaie que l'on embaume ensuite.

Les agents de l'embaumement sont essentiellement le gaïacol, principe actif de la créosote qui en contient

25 %, et l'eucalyptol, antiseptique de premier ordre et « substances cytogènes » par excellence, dit l'auteur.

La nouveauté du procédé consiste dans l'emploi *larga manu* (à la façon des antiseptiques chirurgicaux usuels pour le pansement des plaies) :

1° De ces deux antiseptiques;

2° Des principes actifs eux-mêmes des substances de la série aromatique : acide benzoïque, acide cinnamique, éthers benzoïques, etc.

Ces principes actifs en solution sont : les éthers des acides cinnamique et benzoïque et ces acides eux-mêmes à l'état libre, auxquels est adjointe une partie des résines des baumes.

Parmi les *nombreuses formules* de l'auteur, dans les cas graves on doit donner la préférence à une *association optima* pour la désinfection des plaies septiques.

En voici la formule qui n'est pas intangible et peut varier selon les cas.

Solution Mencière pour l'embaumement des plaies.

(*Solution B.*)

Iodoforme	ââ 10 gr.
Gaïacol.	ââ 10 gr.
Eucalyptol	ââ 10 gr.
Baume du Pérou	ââ 10 gr.
Alcool.	100
Éther Q. S. pour un litre.	

Cette même association se retrouve dans la pommade antiseptique épidermisante.

Pommade Mencière.

Iodoforme		
Gaïacol	àà 10 gr.	
Eucalyptol		
Baume du Pérou		
Vaseline.	1 kg	

Les principes actifs de l'embaumement peuvent être émulsionnés dans l'eau, grâce à la saponine et à la teinture de Panama :

Teinture de Panama à 1/5	75gr	»
Iodoforme	2	50
Saponine	2	50
Gaïacol	10	»
Eucalyptol	10	»
Baume du Pérou	10	»

Par ce traitement on obtient la désinfection complète des plaies et une action réparatrice extrêmement active.

Il permet de pratiquer des pansements d'application simple que l'on peut ne renouveler que rarement, d'une puissance antiseptique considérable, et qui facilitent le transport des blessés, comme on l'a vu précédemment.

L'iodoforme et le baume du Pérou voisinent avec le gaïacol et l'eucalyptol dans les formules de l'embaumement. Pourtant, à la rigueur, on peut s'en passer.

Expérimentalement, il a été reconnu que l'action principale est dévolue au gaïacol, à l'eucalyptol et à l'acide benzoïque, dont les formules respectives sont : $C^6H^4 (OH). (OCH^3)$. — $C^{10}H^{18}O$. — $C^6H^5. CO^2H$.

Ils agissent à la fois comme antiseptiques et comme « cytogènes » : excitants puissants de la vitalité cellulaire, ils permettent de combler des pertes de substance considérables. Ce sont des corps chimiquement définis, étant capables d'assurer par cela même une étude rigoureuse au point de vue biologique et clinique, à l'encontre par exemple des essences, corps complexes et variables. De même, la connaissance de leur posologie interne permet l'antisepsie de cavités et d'organes pour lesquels l'emploi du sublimé, de l'acide phénique, etc., est impossible.

Enfin, ce sont d'excellents antiseptiques pour la substance cérébrale et les méninges.

En 1900, l'auteur, après PHELPS, avait étudié la phénolisation des os et des articulations, surtout au point de vue de la tuberculose.

De sa clinique était sortie en outre, avant la guerre, la première opération de phénolisation faite en France.

L'EMBAUMEMENT

L'embaumement est une méthode d'ordre général étudiée par l'auteur sur environ 20.000 pansements, se prêtant aux nécessités créées par le genre de plaie et son stade d'évolution, et qui, par conséquent, ne peut être employé en particulier sous telle ou telle forme de pansement : humide, sec ou gras.

Par exemple : le pansement humide peut être nécessaire au début sur une plaie phlegmoneuse quand on cherche à déterger un foyer ; le pansement sec, après le pansement humide, pour activer la cicatrisa-

tion des tissus; le pansement gras, pour obtenir la formation rapide de la cellule épidermique.

Les formules de la méthode générale de l'embaumement ont été établies pour répondre à toutes ces nécessités afin que les principes actifs ne cessent en aucun cas d'être en contact étroit avec les cellules :

La série « émulsion », pour le pansement humide ou sec; la série « éthérée », pour le pansement sec; la série « oléo » avec véhicule gras, huile de vaseline ou autre, axonge, lanoline ou vaseline, comme pommade épidermisante.

Elle est établie de manière à pouvoir s'adapter aux différentes circonstances, variété de plaies, état de la plaie, organes, cavités, idiosyncrasie du sujet.

LA PHÉNOLISATION

C'est le moyen le plus énergique que l'on puisse employer, avant l'amputation, pour désinfecter un foyer septique.

On y a recours dans les cas de plaies gangréneuses à *Bacillus perfringens,* dans les lésions osseuses ou articulaires graves et déjà anciennes.

L'embaumement et la phénolisation ne sont que des moyens, mais qui ont permis d'envisager une technique générale en chirurgie de guerre, conduisant à la chirurgie conservatrice et permettant de la pousser jusqu'à ses plus extrêmes limites.

Cette technique s'est créée peu à peu : août 1914 en a vu le début.

La voici telle qu'elle est préconisée par l'auteur :

1° Chirurgie conservatrice dans les grands délabrements des membres, par embaumement ;

2° Fractures récentes : incision, nettoyage du foyer, embaumement : shock réduit au minimum par rachistovaïnisation, si possible, et opération ne dépassant pas cinq à six minutes ;

3° Fractures anciennes et suppurations chroniques : même technique générale et même rapidité d'exécution, mais phénolisation suivie d'embaumement ;

4° Plaies de guerre articulaires : arthrotomie; « précoce » embaumement ;

Arthrites traumatiques par plaies de guerre.

Récentes : arthrotomie, parfois synovectomie et embaumement ; cas très graves : résection, embaumement ;

Anciennes : et sous ses deux formes, arthrite purulente et arthrite à marche chronique, simulant macroscopiquement la tumeur blanche : phénolisation et embaumement ;

5° Plaie du pied, compliquée d'arthrite de ses articulations multiples : évidement total, sauf le calcanéum et les métatarsiens : phénolisation et embaumement.

Tibio-tarsienne, seule envahie :

Plaie récente : arthrotomie, embaumement.

Plaie ancienne : astragalectomie, phénolisation, embaumement ;

6° Gangrène gazeuse : possibilité, dans certains cas, d'éviter l'amputation par la phénolisation suivie d'embaumement;

7° Plaies crâniennes, abcès du cerveau : incision,

esquillotomie, trépanation, crâniectomie, embaumement ;

8° Sutures secondaires après embaumement méthodique répété.

Conditions des sutures primitives après embaumement méthodique extemporané ;

9° Formule de mastic pour fermeture des cavités osseuses.

Le pansement limite, précise et assure le succès de l'acte chirurgical. Toutefois, il ne le supprime pas. Il transforme l'évolution des plaies dans un très grand nombre de cas.

Il évite la pourriture d'hôpital, les plaies atones, les suppurations interminables et jusqu'à l'odeur de pus qui existe dans les salles d'hôpitaux.

Il est facile de se rendre compte de l'efficacité du traitement MENCIÈRE en parcourant les deux observations suivantes prises au hasard dans son mémoire traitant spécialement des plaies de guerre.

Observation CXXI

Paul A..., blessé le 7 janvier 1916, opéré le 8. Photographié en couleurs le 28 janvier; plaie superbe, état général parfait. Le 19 février, au 41e jour, on note : plaie comblée, manque un peu d'épiderme. Conservation des mouvements.

Paul A... a été opéré et guéri par le M. A. M. Plaisant, qui a appliqué à Royallieu pendant plusieurs mois la méthode Mencière.

Sur la photographie en couleurs prise au vingtième

jour on aperçoit le coude béant, une vaste plaie au niveau du condyle externe. La plaie a été produite par une balle à effet explosif. Le cliché montre la profondeur de la blessure et son étendue. Il indique aussi une plaie saine, rouge carmin, de très bon aspect.

Ce blessé présente un des résultats les plus remarquables qu'il ait été donné d'observer depuis le début de la guerre. Ce résultat fut obtenu d'une façon très simple : résection de la partie du condyle faisant esquille; embaumement méthodique. Pansement régulièrement renouvelé toutes les vingt-quatre heures, puis ensuite toutes les quarante-huit heures. Pas d'appareil plâtré, une gouttière métallique pendant quelque temps. Cicatrisation régulière sans élévation de température, le blessé conservant un bon état général.

Au moment de l'évacuation du sujet, la cicatrisation de la blessure était terminée, la guérison parfaite, tous les mouvements volontaires d'extension et de flexion du coude conservés. La pronation et la supination étaient normales ainsi que tous les mouvements du poignet, des doigts et de l'épaule.

Observation XXXVII

Ch..., infanterie, blessé le 29 avril 1916, à 16 heures, entré le 29 avril à 19 heures. Opéré le 29 avril à 21 heures.

Horrible blessure par éclat d'obus. Jumeaux et soléaire entièrement broyés, fléchisseur et jambier postérieur broyés par endroits; par place, on arrive jusque sur la face postérieure du tibia.

Cuisse droite : éclat d'obus de la grosseur d'une noix

sectionnant le biceps et venant se loger dans le creux poplité.

Pied gauche : horrible plaie découvrant le calcanéum haché et la plante du pied.

Blessé shocké : sérum physiologique intraveineux.

Nettoyage et dissection très prudente des plaies ; car il eût fallu tout enlever, ce qui, fatalement, aurait transformé le blessé en infirme. Lavage à l'eau Mencière.

Embaumement à la solution. Embaumement qui sera, dans les débuts, répété toutes les vingt-quatre heures.

Sutures secondaires par fils métalliques et attelles au niveau de la cuisse et du pied.

Au 60e jour, ce blessé commence à marcher avec deux cannes. Au 65e jour, il va et vient, sans canne, dans l'intérieur de l'hôpital et dans les jardins. Tous les mouvements volontaires de la hanche, du genou et du pied.

Cas remarquable de conservation par embaumement. Réparation rapide des tissus.

Contrôle bactériologique de la méthode Mencière.

Le premier contrôle bactériologique de la méthode Mencière a été fait par M. le médecin-major Costa, chef du laboratoire de bactériologie de la VIe armée. A ce point de vue particulier, les examens de M. Costa ont surtout trait aux blessures graves et infectées (plaies récentes) des blessés d'ambulance et des hôpitaux de l'avant.

J'ai pu suivre quotidiennement, à l'hôpital du Grand Palais, toute une série de plaies de tout genre. Ces plaies que j'ai choisies à mon gré dans le service même du Dr Mencière et que j'ai soumises à un contrôle répété, m'ont amené aux constatations suivantes :

Plaies en voie de cicatrisation. Actuellement, le chirurgien base le plus généralement sa détermination opératoire sur deux données : l'aspect de la plaie, l'absence de germes à son niveau.

a) La plaie doit être rouge, comme vernissée, sans points grisâtres.

b) Ce procédé empirique doit être complété par la connaissance de l'état bactériologique de la plaie (Sur les frottis on ne doit plus rencontrer de germes, ou au plus un par champ de microscope).

POLICARD dit qu'il s'agit là d'un procédé clinique suffisant, mais en réalité grossier, qui ne permet pas de conclure à une asepsie rigoureuse de la plaie.

Nous avons étudié, comme lui, comparativement par la culture et par l'épreuve du frottis, la flore bactérienne d'un grand nombre de plaies en voie de cicatrisation. Comme on pouvait s'y attendre, il y a toujours parallélisme entre le résultat négatif de l'épreuve du frottis et une faible quantité de colonies à la culture.

Jamais nous n'avons rencontré de plaies *absolument aseptiques*; mais, cette réserve faite, le moyen pratique, très simple, préconisé par CARREL, est excellent : les frottis ne doivent pas montrer plus d'un germe par champ.

Nous avons procédé de la façon suivante :

Des préparations ont été faites par impression, en posant sans frotter une lame préalablement flambée sur plusieurs points choisis de la plaie. Ces préparations ont été fixées et colorées par la thionine phéni-

quée, le violet de gentiane ou le bleu de méthylène. Dans chaque examen au microscope, 12 champs ont été observés à un grossissement de 600 à 800 diamètres[1].

La valeur du rapport $\frac{\text{nombre de germes}}{\text{12 champs}}$ = l'indice microbien qui doit être inférieur à $\frac{12}{12}$.

La présence en un point d'une lame d'une accumulation de germes est une contre-indication.

Nous avons constaté avec notre assistant M. Blaque, après plusieurs centaines d'expériences sur des blessés traités par le procédé Mencière, que le nombre de microbes décroissait rapidement (un à quatre jours) au point de pouvoir considérer la plaie comme pratiquement aseptique (un germe par champ).

Le *moment optimum pour la suture* (fermeture de la plaie) a pu être ainsi scientifiquement déterminé.

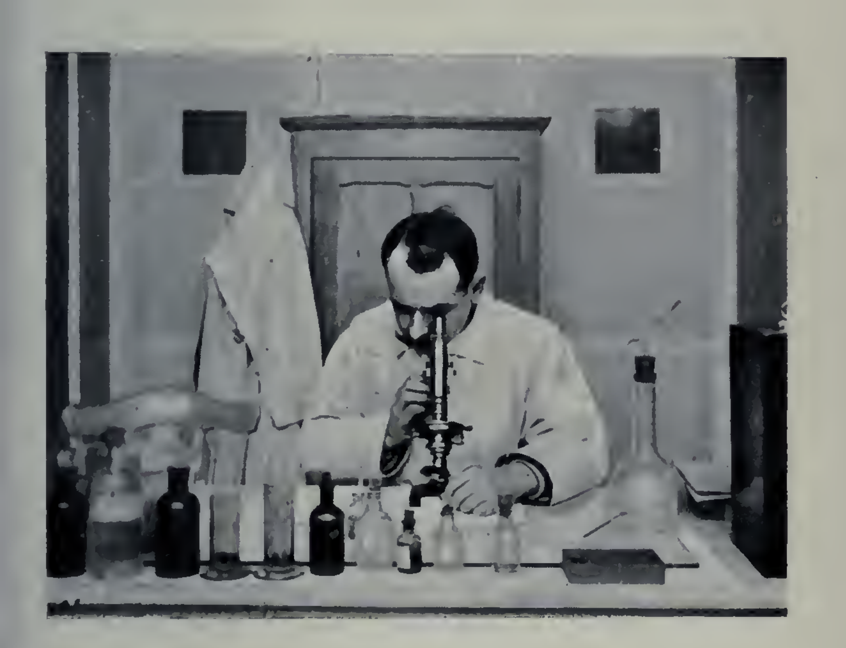
Pendant deux mois, nous avons pu constater, sur plus de trente cas divers de plaies récentes, énormes et très infectées, des faits fort intéressants.

D'une manière générale, la méthode Mencière permet l'antisepsie d'organes et de cavités, où sans elle l'antisepsie eût été illusoire ou dangereuse.

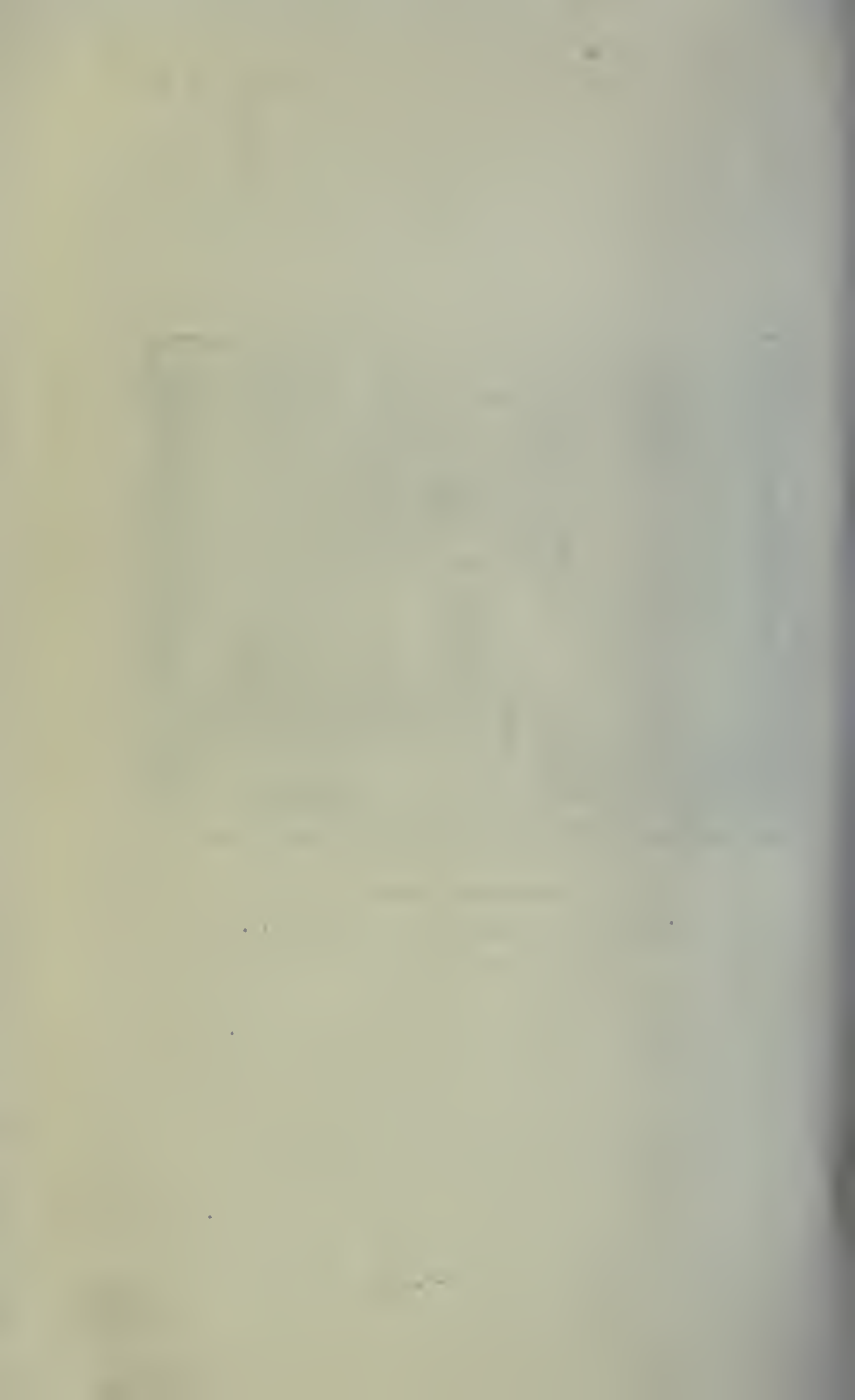
Les bactéries qui, au début de mes examens, étaient innombrables, tombaient en moins de trois jours à 50 ou 60; puis, vingt-quatre ou quarante-huit heures après, à 3 ou 4; enfin quelques heures encore, et il n'y en avait plus qu'une ou deux.

(1) Je suis heureux de remercier ici notre assistant et ami M. Blaque, qui a bien voulu nous assurer sa précieuse collaboration.

67



Méthode Mencière
Détermination de l'indice microbien des plaies.



Je ne me suis pas contenté de l'épreuve par frottis, estimant qu'elle devait être complétée, ainsi que l'aspect clinique, par une autre épreuve : l'étude cytologique de l'exsudat et de la surface de la plaie.

Sur une plaie en suppuration, non apte à la suture, l'exsudat est exclusivement constitué par des leucocytes polynucléaires neutrophiles plus ou moins dégénérés. A mesure que l'état de la plaie s'améliorait, nous constations que la formule cytologique révélée par les lames obtenues par contact changeait peu à peu. Aux polynucléaires s'adjoignaient des éléments mononucléaires : cellules à type de lymphocytes et grands mononucléaires qui sont surtout des cellules endothéliales des capillaires des bourgeons charnus.

Les plaies en situation optima pour la suture avaient un exsudat constitué par 70 à 80 °/₀ de leucocytes polynucléaires neutrophiles non dégénérés (vivant à l'épreuve des colorations vitales) et 20 à 30 °/₀ de mononucléaires (en majorité de grands) qui sont pour la plupart des cellules endothéliales de capillaires néoformés. Leur présence, jointe à celle de cellules endothéliales en grande quantité, est un signe excellent.

Nous avons assisté à l'apparition de tous ces phénomènes au cours de l'application de la méthode de l'embaumement, et cela dans un temps relativement court.

En résumé, la méthode MENCIÈRE produit l'immobilisation biologique des tissus nécrosés, par l'action de substances qui les rendent imputrescibles.

MÉTHODE VINCENT

En tenant compte, d'une part, de ce que les microbes pathogènes se multiplient dans les plaies de guerre dès la neuvième heure, et, d'autre part, de ce que le blessé ne peut être mis entre les mains du chirurgien que douze ou même vingt-quatre heures après sa blessure, en raison, notamment, des difficultés de transport, H. VINCENT estime qu'il importe de pratiquer, dès le début même de l'infection des plaies, c'est-à-dire au poste de secours, un pansement capable d'entraver la multiplication microbienne en attendant l'intervention chirurgicale. Il y a donc lieu, de l'avis de cet auteur, d'instituer une prophylaxie chirurgicale des infections des plaies de guerre, une désinfection préventive des plaies dès le poste de secours.

A cet effet, l'auteur a recherché un antiseptique à l'état de poudre, en raison des avantages multiples que présente un corps à l'état solide sur ce même corps à l'état liquide, capable de fournir, sous le minimum de volume, le maximum d'efficacité. De la série de corps qu'il a étudiés, c'est l'hypochlorite de chaux qui s'est, de beaucoup, manifesté comme le

plus actif à la dose la plus faible. De telle sorte que VINCENT est parvenu à employer un mélange antiseptique dont la formule est :

Hypochlorite de chaux titrant 100 à 110 litres de chlore . . . . 10 gr.
Acide borique officinal pulvérisé et bien sec. . . 90

La technique du pansement, à l'aide de cette poudre, est relativement simple. Elle consiste, pour les blessures en surface, à saupoudrer abondamment la plaie avec le flacon renfermant la poudre, et dont le goulot a été préalablement flambé ; au moyen d'un instrument quelconque, on introduit cette poudre dans tous les replis de la plaie. Pour les plaies borgnes ou en séton, on utilise un insufflateur d'un modèle robuste et d'un emploi facile, qui permet la pénétration de la poudre aussi loin que possible.

Toutes les catégories de blessures, sauf les plaies pénétrantes du thorax et de l'abdomen, ont été traitées par cette méthode, qui, ainsi qu'il ressort des observations publiées dans la *Presse Médicale* du 1er février 1917, paraît avoir donné de bons résultats.

Les blessés, traités dès le poste de secours par la méthode de VINCENT, arrivent à l'ambulance chirurgicale avec des plaies saines, sèches et d'aspect normal. En outre, cette méthode ne semble pas devoir porter préjudice aux tissus vivants qu'elle n'altère aucunement. Elle est parfaitement tolérée par le blessé qui n'accuse aucune douleur et même, bien souvent, aucune sensation, pendant son application. Enfin elle ne gêne en rien la cicatrisation qu'elle favoriserait, au contraire.

Pour H. Vincent, et selon ses termes mêmes, le pansement préventif à l'aide de sa poudre réalise une sorte d'embaumement qui contient ou limite la pullulation des bactéries apportées par le projectile, par les fragments de vêtements, par la boue, etc. Il suspend donc, dans un grand nombre de cas, la phase silencieuse et si redoutable d'infection.

Si l'on ajoute que l'hypochlorite de chaux renferme normalement du chlorure de calcium dans la proportion de 5 à 7 °/₀ et que ce dernier sel jouit de propriétés hémostatiques, on voit que la méthode de H. Vincent est à la fois préventive, antiseptique et hémostatique.

MÉTHODES BASÉES SUR L'EMPLOI DES SÉRUMS THÉRAPEUTIQUES

SÉRUMS THÉRAPEUTIQUES

Les sérums thérapeutiques employés jusqu'à ce jour proviennent du sang d'animaux, notamment de chevaux, immunisés contre diverses maladies contagieuses.

Sérum de Leclainche et Vallée.

(*Opsolysine*)

Le sérum de LECLAINCHE et VALLÉE est un sérum polyvalent produit par des chevaux immunisés contre les germes des diverses suppurations (staphylocoques, streptocoques, colibacille, bacille pyocyanique) et des gangrènes gazeuses (*Vibrion septique, Bacillus perfringens*). Il posséderait les avantages reconnus au sérum normal et ceux qui résultent de la présence des anticorps spécifiques. Il forme une couche isolante

sur les plaies et favorise la régénération rapide des éléments anatomiques, la phagocytose des germes et tarit la suppuration. Il est facile à employer. A cet effet, on applique sur la plaie des couches de gaze stérilisée, imbibée de ce sérum; il serait contre-indiqué en chirurgie cérébrale à cause d'accidents sériques anaphylactiques.

Méthode de Leclainche et Vallée.

En instituant leur méthode de traitement des plaies infectées, Leclainche et Vallée ont eu pour but de fournir aux cellules organiques, tout en ménageant leur vitalité et leur faculté de bourgeonnement, le moyen d'assurer par elles-mêmes la digestion des microorganismes des plaies, grâce à l'emploi d'un sérum spécifique. Ce sérum est dit « polyvalent » en ce sens qu'il s'adresse, non à une seule, mais aux principales variétés de bactéries capables de provoquer l'infection des blessures.

La méthode n'est pas née de la guerre. Dès 1912, Leclainche et Vallée préparaient un sérum permettant de réaliser la destruction des germes microbiens habituellement rencontrés dans les plaies infectées. Pour obtenir leur sérum, ces auteurs immunisaient un cheval par la voie sous-cutanée et par des inoculations répétées, à l'aide des espèces microbiennes suivantes : staphylocoques et streptocoques de variétés diverses, colibacilles et pyocyaniques de souches multiples.

Depuis la guerre, et dès que l'importance des agents microbiens anaérobies, notamment dans l'évolution des plaies gangréneuses, a été démontrée, Leclainche et Vallée ont associé aux germes aérobies précités, dans la préparation de leur sérum, le *Vibrion septique* et le *Bacillus perfringens*.

On conçoit qu'un tel sérum soit spécifique vis-à-vis des infections provoquées par les espèces microbiennes qui ont contribué à sa préparation; mais il apparaît immédiatement que son emploi doit être exclusif de tout antiseptique. Car il est bien évident qu'une substance antiseptique, administrée concurremment à ce sérum, paralyserait et compromettrait singulièrement l'action de ce dernier. De telle sorte qu'il est simplement nécessaire, pour préparer la plaie, de la laver à l'eau ou à la solution physiologique bouillies. Le sérum pourra être alors diversement employé suivant les cas : en en imbibant, soit les gazes, soit les mèches pour les plaies en surface ou borgnes, en injections dans les trajets ou les cavités.

Le sérum polyvalent de Leclainche et Vallée a été appliqué au traitement des plaies de guerre infectées les plus diverses quant à leur forme et à leur localisation. Aux dires de ses auteurs, et ainsi que le prouvent les observations communiquées par M. de Fleury à l'Académie de Médecine en 1915, il a donné les résultats les plus nets et les plus précieux, sans que jamais le plus léger accident ait été observé. Son action s'exerce localement sur les plaies de toute nature et de toute origine, suppurantes ou non.

L'application de ce sérum est non seulement indolore, mais la douleur qui existait auparavant s'atténue

et disparaît presque aussitôt. Très fréquemment, le pus n'existe plus après vingt-quatre ou quarante-huit heures. Dans les cas les plus graves, les caractères de la suppuration se trouvent modifiés : les pus fétides, sanieux, colorés, font place à un léger suintement qui disparaît lui-même très rapidement.

Dans le même temps, la plaie se déterge, les enduits qui la recouvrent disparaissent, les sphacèles s'éliminent, les lambeaux non détachés se réparent.

Dès les premiers pansements, la température des fébricitants s'abaisse ; toutefois, l'application du sérum provoque volontiers une réaction thermique légère et fugace.

L'état général s'améliore très vite, et le blessé avoue une sensation de bien-être.

Enfin la cicatrisation survient hâtivement et l'aspect des cicatrices obtenues est irréprochable.

Tels sont les avantages, d'après ses auteurs, de l'emploi du sérum polyvalent de Leclainche et Vallée. Ainsi que ces derniers et le Dr de Fleury l'ont exposé à l'Académie de Médecine, le pansement, à l'aide de ce sérum, réaliserait une véritable antisepsie physiologique.

Sérum de Weinberg et Seguin.

(Serum antiœdematiens)

Bien que, dans leurs recherches, Weinberg et Seguin aient eu uniquement en vue le traitement de la gangrène gazeuse, et bien que leur méthode n'ait encore été expérimentée que sur une échelle relative-

ment restreinte, il convient de ne point terminer le chapitre relatif à la sérothérapie des plaies de guerre, sans dire quelques mots de leur sérum.

A la suite d'observations nombreuses, faites sur des blessés provenant des points les plus divers du front, WEINBERG et SEGUIN avaient reconnu que le *Bacillus œdematiens* était un des microbes les plus répandus des plaies de guerre, extrêmement dangereux, capable de produire à lui seul, en tant qu'anaérobie pathogène, la gangrène gazeuse toxique.

Dès 1915, des essais pratiqués sur lapin et mouton avaient montré, aux deux auteurs précités, qu'il était possible d'obtenir un sérum contre la toxine du *Bacillus œdematiens*. WEINBERG et SEGUIN immunisèrent alors un cheval auquel ils injectèrent, en dix mois, 1.210 centimètres cubes de toxine. Ils constatèrent que le sérum de ce cheval possédait des propriétés antitoxiques et préventives élevées. Ce sérum neutralisait en effet des doses mortelles de culture, en bouillon, de *Bacillus œdematiens*, et de plus, injecté à la dose de 1/100 de centimètre cube à un cobaye, il protégeait celui-ci contre 5 à 10 doses mortelles de culture. En outre, des cobayes injectés préalablement soit avec une culture, soit avec la toxine du *Bacillus œdematiens*, étaient guéris par traitement à l'aide du sérum de cheval immunisé. Ce sérum s'était montré non seulement préventif et antitoxique, mais aussi nettement curatif.

Lorsque WEINBERG et SEGUIN communiquèrent les résultats de leurs recherches à l'Académie des Sciences, dans sa séance du 26 février 1917, ils n'avaient encore expérimenté leur sérum que dans

le traitement de quelques blessés. L'injection de sérum *antiœdematiens* n'avait pu sauver un blessé atteint de gangrène gazeuse à *œdematiens* et à évolution très rapide ; par contre, son action favorable avait été très nette dans cinq autres cas.

MÉTHODE

DES

SÉRUMS OU LIQUIDES NUTRITIFS ARTIFICIELS IMPROPREMENT APPELÉS SÉRUMS PHYSIOLOGIQUES (1)

UTILISATION DES SÉRUMS ET LIQUIDES NUTRITIFS ARTIFICIELS DANS LES PANSEMENTS DES PLAIES DE GUERRE.

Les physiologistes sont parvenus, il y a déjà un certain temps, à entretenir par des sérums nutritifs artificiels la vie et les fonctions de certains organes isolés du corps. LOCKE, le premier, montra que le cœur isolé des mammifères, préparé pour la circulation coronaire, bat régulièrement et avec force pendant plusieurs heures, lorsqu'on se sert comme liquide nutritif de la solution de RINGER, additionnée d'un peu de glucose et saturée d'oxygène.

---

(1) Le mot sérum est impropre lorsqu'il s'agit de désigner des liquides nutritifs artificiels ; c'est soluté physiologique de..... qu'il faut dire. Ex. : soluté physiologique de chlorure de sodium (chlorure de sodium, 7 grammes ; eau distillée, 993 grammes), et non sérum physiologique comme on le désigne le plus souvent.

Nous parlerons de la méthode de Wright, du sérum de Ringer-Locke, de celui de Hedon et de Fleig, et de celui de Schiassi

Méthode de Wright.

Dans une série d'articles du plus haut intérêt, publiés dans *The Lancet* (1), sur l'infection des plaies de guerre, le colonel Sir Almroth E. Wright, du corps expéditionnaire britannique opérant en France, a exposé une méthode de traitement qui, d'après les termes mêmes de son auteur, est une méthode physiologique.

Wright, en constatant que dans une plaie infectée il se produit un exsudat de lymphe doublement actif sur les microorganismes par son pouvoir antitryptique et par l'action phagocytaire des leucocytes qu'il renferme, a conclu que le but du chirurgien est de rechercher une substance capable de provoquer la formation de la lymphe possédant ces propriétés bactéricides. Il est ainsi arrivé à employer une solution contenant 5 °/₀ de chlorure de sodium et 0,5 °/₀ de citrate de sodium. Toutefois, Wright conseille de compléter son mode de traitement par l'emploi des vaccins curatifs et prophylactiques.

La méthode de Wright peut se décomposer en trois temps correspondant aux formations hospitalières par lesquelles passe le blessé.

Tout d'abord, au poste de secours (*First Aid Post*

(1) *The Lancet*, année 1915, pages 879, 957, 1009, 1063

le praticien, après arrêt de l'hémorragie, fera un nettoyage aussi complet que possible de la plaie qu'il bandera soigneusement. Puis il pratiquera une injection prophylactique de vaccin antigangréneux contenant du streptocoque, du staphylocoque et du bacille de Welch.

En second lieu, dès l'arrivée du blessé à l'ambulance de campagne (*Field Ambulance*) et après avoir extrait le ou les projectiles, le chirurgien procède au drainage de la plaie à l'aide de la solution ci-dessus indiquée. A cet effet, la plaie est nettoyée au moyen d'injections pratiquées avec une seringue remplie de la solution de Wright, et on imbibe de la même solution les mèches de gaze servant à faire le pansement qui doit être très épais. Sur la dernière gaze on dispose un ou deux comprimés de sel qui sont maintenus en place par la bande recouvrant le tout.

Enfin, à l'hôpital de la base, il doit être procédé à l'irrigation de la plaie. L'importance de cette dernière opération est, pour E. Wright, fondamentale, car elle permet de maintenir, d'une façon constante, le contact du liquide avec la plaie. En premier lieu, l'irrigation se fait à l'aide d'une solution saline hypertonique (chlorure de sodium à 5 °/₀) bouillie et maintenue à une température de 37-40°. Cette irrigation se fait *de die in diem* jusqu'à restauration des tissus à leur état naturel ; Wright lui donne le nom de *lymphagogic irrigation*. Puis intervient la *leucocytagogic irrigation*, qui doit être pratiquée au moyen d'une solution saline physiologique bouillie, jusqu'à extinction de l'infection superficielle. Lorsque cette dernière est réalisée, le chirurgien peut pratiquer l'inter-

vention chirurgicale que nécessite l'état de la plaie, et notamment la suture secondaire de celle-ci.

Sérum de Ringer-Locke.

C'est un sérum physiologique qui assure le fonctionnement isolé, du cœur notamment.

Voici sa composition :

Liquide de Sydney Ringer-Locke.

Chlorure de sodium.	8gr »
Chlorure de calcium.	0 20
Chlorure de potassium.	0 20
Bicarbonate de sodium	0 20
Glucose.	1 »
Eau distillée.	1.000 cm^3
Oxygène (*ad libitum*)	à saturation

On stérilise à l'autoclave.

Le chlorure de sodium donne au liquide une tension osmotique qui assure l'isotonie (1) et empêche l'hémolyse (2). Les chlorures de calcium et de potassium assurent le fonctionnement systolique du cœur dans les expériences. Le bicarbonate de soude donne l'alcalinité apparente du sang et le glucose lui fournit un élément nutritif. Le sérum est employé depuis longtemps par les physiologistes pour conserver

(1) C'est-à-dire de densité voisine de celle du sang.

(2) C'est-à-dire la destruction des globules rouges du sang par mise en liberté de leur hémoglobine.

l'excitabilité des tissus et des organes isolés (foie, uretère, intestin); il est excellent, d'après GAUTRELET, pour remplacer le sérum de HAYEM par la voie sous-cutanée. Il est également employé en pansements. Sous cette forme il constitue un milieu de choix qui assure la résistance des tissus à l'infection. GLEY et LOEWY ont obtenu les meilleurs résultats dans les plaies de guerre : diminution des douleurs, disparition du pus, cicatrisation plus rapide.

Sérum de Hedon et Fleig.

HEDON et FLEIG ayant remarqué que la solution de LOCKE était privée de phosphore, de soufre et de magnésium, ont fait en sorte de préparer un autre liquide qui réalise des conditions encore plus favorables pour le maintien de l'irritabilité des organes; ils ont ajouté du phosphate disodique et du sulfate de magnésie :

Chlorure de sodium (NaCl).	6gr »
Chlorure de potassium (KCl).	0 3
Chlorure de calcium ($CaCl^2$)	0 1
Sulfate de magnésie (SO^4Mg).	0 3
Phosphate de soude ($PO^4H\,Na^2$)	0 5
Bicarbonate de soude (Co^3NaH).	1 5
Glucose.	1 »
Eau	1.000 »
Oxygène	à saturation

Un fragment d'intestin grêle de lapin plongé dans ce liquide continue à présenter des mouvements

péristaltiques enregistrés facilement pendant huit à douze heures à 37° C., alors que dans le liquide de LOCKE l'irritabilité disparaît après quatre à cinq heures. La durée de la persistance de l'irritabilité des organes isolés du corps est d'autant plus longue que la température de ces organes est plus basse; en maintenant l'intestin ou l'œsophage à la température de 0° il est facile de provoquer encore les contractions au bout de sept jours après la mort de l'animal, en les ramenant progressivement à une température convenable.

L'eau de mer ne pourrait pas, d'après les auteurs, remplacer le liquide de LOCKE. Elle lui serait très inférieure; elle est impropre à maintenir les contractions du cœur de lapin isolé; ramenée à l'isotonie, elle est peu favorable à la vie des organes isolés; elle est même capable d'inhiber complètement les contractions du cœur. Les sérums artificiels salins exercent sur les organes une influence excitante et nutritive, avec prédominance de la première.

Sérum de Schiassi.

Le sérum ordinaire, appelé vulgairement sérum de HAYEM, exerce certains phénomènes sur les éléments cellulaires, dus à l'action du chlorure de sodium; il y a appauvrissement en calcium et en potassium, qui sont des toniques nerveux.

SCHIASSI (de Bologne) fait rentrer du calcium et du potassium dans sa formule pour combattre cette sorte d'adynamie cellulaire, du bicarbonate de soude pour

lutter contre l'acidose, et du glucose, qui est un principe nutritif et tonique.

Voici la formule donnée par Schiassi :

Chlorure de sodium.	6gr 50
Chlorure de potassium	0 30
Chlorure de calcium fondu . . .	1 »
Bicarbonate de soude	0 50
Glucose.	1 50
Eau distillée.	1.000 »

Quand on injecte le sérum par voie rectale, Schiassi préconise la même formule, plus :

Glucose	50 gr.
Alcool éthylique.	15

La pénétration du liquide dans les tissus est favorisée par l'alcool.

Méthode d'Abadie.

Abadie (d'Oran) [1] préconise, pour le traitement des plaies, l'emploi de solutions concentrées de sel marin, à l'exclusion de tout antiseptique.

La plaie, après avoir été nettoyée mécaniquement, est largement lavée à l'aide d'une solution de sel marin à 7 °/oo (sérum physiologique) chaude, en ne craignant pas de malaxer légèrement les tissus dans

(1) *Bulletins et Mémoires de la Société de Chirurgie*, année 1915, page 1050.

le liquide qui les baigne, pour en faciliter la détersion. Puis, à l'aide de mèches de gaze, bien imbibées de solution salée concentrée, on bourre la plaie qui est finalement recouverte d'un pansement épais pour parer à l'exsudation, toujours abondante dans ce traitement.

Le Dentu, à propos de l'emploi de l'eau salée en chirurgie, affirme que le pouvoir antimicrobien du chlorure de sodium est extrêmement contestable, son effet antiputride est plus certain. Malgré les nombreuses expériences d'Abadie, qui se sert pour le traitement des plaies de guerre de solutions concentrées de sel marin à 140 °/₀₀, cette méthode n'a pas eu un grand succès.

Morestin l'indique comme douloureuse et a renoncé à son emploi.

Récemment Delbet a fait connaître les résultats remarquables que lui a donnés le chlorure de magnésium dans le traitement des plaies infectées. Ce sel en solution à 12,10 °/₀₀, stimule l'activité des globules blancs ; en injection il relève l'état général. De Fleury a pleine confiance dans le pansement à l'eau de mer stérilisée par vingt minutes d'ébullition, puis filtrée.

MODE D'EMPLOI DES LIQUIDES NUTRITIFS ARTIFICIELS

Il faut employer ces liquides tièdes et stérilisés à l'autoclave. Si cette opération est effectuée par l'ébullition, il se produit un précipité de carbonate de calcium ; il est indispensable de stériliser d'une part

le liquide sans chlorure de calcium et d'autre part une solution mère de ce dernier, solution dont on ajoute au moment voulu la quantité nécessaire pour qu'un litre du liquide contienne 0gr 20 de chlorure de calcium. On en prend 20 centimètres cubes pour un litre de RINGER-LOCKE. Ces liquides peuvent être utilisés dans plusieurs circonstances :

1° *Lavages* : « Le lavage abondant des plaies souillées de débris ou de sécrétions purulentes sera indispensable au cours des pansements et des opérations. » Le chirurgien insistera sur l'importance du « premier débridement et du premier pansement des plaies de guerre, surtout lorsqu'il s'agira des projectiles d'artillerie (éclats de bombe, de grenades à main et à fusil, de projectiles Martin-Hal, de torpilles); leur multiplicité est parfois considérable, et il n'est pas rare d'avoir à faire sur le même blessé vingt-cinq à trente incisions différentes » (SOUBEYRAN).

2° *Véhicules :* Il est préférable de ne pas employer concurremment des antiseptiques en solution concentrée. GLEY et LOEWY ont obtenu des résultats satisfaisants dans le lavage de plaies en employant le liquide de LOCKE comme véhicule de certaines substances antiseptiques (un tiers d'eau oxygénée et deux tiers de liquide de LOCKE).

3° *Pansements* : « Les liquides nutritifs réalisent d'excellents modes de pansement pour les plaies de surface; il suffit pour cela d'en imprégner des compresses de gaze, ce qui constitue une sorte de pansement humide, que la plaie soit dans la période

initiale de grande infection ou que la suppuration ait presque disparu ; pour les greffes en particulier, ces liquides nous paraissent éminemment favorables. » (SOUBEYRAN.)

4° *Mèches* : Dans les trajets et les fistules, des mèches de gaze imbibées de ces sérums constituent d'excellents pansements dont les effets lymphocytogènes sont semblables à ceux obtenus avec le baume du Pérou, ainsi que l'a montré SOUBEYRAN.

5° *Injections* : Ces liquides nutritifs sont de très bons sérums artificiels que l'on peut injecter par les voies sous-cutanée (SALVA MERCADÉ) et intraveineuse comme le sérum de HAYEM, ou encore par voie rectale à l'aide d'un robinet débitant un goutte-à-goutte continu.

Résultats.

GLEY et LOEWY ont employé pendant huit mois le liquide RINGER-LOCKE dans les plaies de guerre et ils en ont été très satisfaits.

SOUBEYRAN utilise depuis plusieurs mois, à l'hôpital 4 de Verdun en particulier, le *liquide de Schiassi* avec lequel il lave et panse les plaies systématiquement. Récemment cet auteur a complété la formule de SCHIASSI avec celle de HEDON et de FLEIG en ajoutant du sulfate de magnésie et du phosphate disodique. Il ne peut dire lequel des deux liquides est le meilleur.

Nous ne voudrions pas, dit SOUBEYRAN, « faire de ces liquides nutritifs un agent thérapeutique universel, révolutionnant les diverses méthodes de pansement et guérissant rapidement et uniformément toute

les plaies infectées. Depuis la première heure, nous sommes le défenseur résolu, pour les plaies de guerre, de l'incision précoce et large, de la désinfection minutieuse des trajets ; mais, après avoir incisé et utilisé, dans les premiers stades de la désinfection des plaies, certains antiseptiques peu caustiques comme l'eau oxygénée, l'alcool iodé faible, l'éther, nous lavons et pansons avec les liquides nutritifs artificiels.

« C'est ainsi que nous avons déjà traité plusieurs centaines de plaies très infectées, de ces plaies qui nous arrivent des tranchées, après quelques heures, produites par des éclats de grenades, de torpilles ou de bombes, qui créent une infinité de lésions sur un même blessé, avec des souillures affreuses, résultant des terrains contaminés, et souvent gangréneuses d'emblée. D'autres fois, ce sont des fractures par coup de feu, de la jambe, de la cuisse, du membre supérieur ; et ces immenses foyers débridés et détergés, nous les bourrons de gaze et de sérum. Nous avons aussi obtenu de beaux résultats de conservation de membres, pour lesquels se posait la question de l'amputation, soit dans les broiements de l'épaule et du coude, soit dans les fractures du fémur et de la jambe. »

L'AMBRINE

(MÉTHODE DU Dr BARTHE DE SANDFORT)

Le Dr BARTHE DE SANDFORT a découvert, il y a plus de seize ans, les avantages de la paraffine, soit seule, soit associée à des gommes-résines. Durant cette guerre, il a été à même de montrer, à l'hôpital Saint-Nicolas d'Issy-les-Moulineaux, un moyen simple et sûr d'obtenir de la nature la reconstitution intégrale des tissus, « uniquement en leur assurant la chaleur, la protection et l'isolement » sous l'influence d'un produit qu'il nomme *ambrine*.

Constitution de l'ambrine et propriétés physiques.

L'ambrine est un mélange de paraffine et de gommes-résines qui se présente sous la forme de plaques de couleur ambrée, de consistance solide et de densité voisine de celles des paraffines. Cette substance entre en fusion à 50-52°. Son point d'ébullition est à 230°, point qu'il ne faut pas atteindre, car les vapeurs émises seraient inflammables et pourraient causer des acci-

dents. Afin de ne pas altérer ses propriétés, l'inventeur, le Dr BARTHE DE SANDFORT, recommande de la chauffer lentement et à feu doux, jusqu'à température de 125 à 130° : elle est indiscutablement stérilisée. Il suffira donc de la maintenir dans un bain-marie à une température voisine de 80° pour qu'elle soit prête à être utilisée à n'importe quel moment, « constituant ainsi une provision de cire stérilisée comparable à une réserve d'eau stérilisée ».

« Elles sont toutes deux aussi fluides l'une que l'autre, et j'ai défini l'ambrine un liquide qui se solidifie en se refroidissant. Mais alors l'ambrine se rétracte. Pour se rendre compte de cette rétractilité, il suffit de fixer un tube de verre gradué sur une petite vessie pleine d'eau que l'on plonge dans l'ambrine en fusion. On constate que celle-ci, en se refroidissant, comprime l'eau et la fait monter dans le tube d'une ou de plusieurs divisions, suivant la quantité de matière qui l'entoure. On comprend donc que cette propriété physique qu'a l'ambrine de se rétracter par le refroidissement a pour conséquence de produire une compression des organes sous-jacents et de constituer par là même un pansement *doucement et continuellement compressif.* » (BARTHE DE SANDFORT.)

L'ambrine possède, de plus, une grande capacité calorique qu'elle conserve. Vingt-quatre heures après l'application du produit sur la peau, sa température est encore voisine de 40°. On peut vérifier le fait de la façon suivante : enduire la peau d'une couche assez épaisse d'ambrine à 60°, y inclure un thermomètre qui sera recouvert de coton imprégné de la matière et, par-dessus, fermer le tout *hermétiquement* avec

de la ouate et des bandes. Si l'air ne peut pas pénétrer sous la carapace, on constatera, le lendemain de l'application, une température qui sera voisine de 39° à 40°.

Effets physiologiques.

L'emploi de cette substance a pour seul but l'isolement absolu des tissus malades. Elle leur permet de se reconstituer naturellement sous une cuirasse protectrice, à l'abri des contacts brutaux, des changements de température, de l'action des microbes ou de tout autre agent nocif.

Dans ce milieu, formant étuve à température constante éminemment favorable, la cellule prolifère rapidement, et les pertes de substance se comblent d'une manière étonnante. Cette méthode n'est pas absolument originale. Elle paraît renouvelée des procédés anciens, tels que les cuirasses en diachylon, en vigo, le pansement de Guérin, l'huile chaude d'Ambroise Paré, etc.

« On est frappé de l'apparition au milieu des plaies de ces îlots épidermiques, véritables greffes automatiques résultant d'un essaimage épithélial de la peau voisine... Ce travail réparateur s'opère au milieu d'une lymphe ayant une odeur très forte que l'on pourrait prendre pour du pus. » (Barthe de Sandfort.)

Les tissus présentent une tolérance remarquable pour l'ambrine chauffée, même à une température assez élevée. Déjà à 80°, la main supporte avec peine l'eau chaude ; l'ambrine à 80° est parfaite-

ment supportable à la main et l'est encore à 120° sans brûlure. La peau est ainsi soumise, sans accident, à une thermalité bien supérieure à celle que permet l'emploi de tout autre produit.

Remarquons que, vers 60°, le réseau périphérique se dilate, il y a hyperhémie de la peau et suractivité locale. Les effets physiologiques varient d'ailleurs selon la température à laquelle l'application est faite. Quelques patients présentent même certains symptômes de fièvre quand il est nécessaire de leur faire une large application : légère augmentation de la température interne consécutive à une accélération passagère des pulsations artérielles et à une sensation générale de chaleur parfois accompagnée de moiteur.

Certains malades sans plaies, mais présentant de faibles manifestations arthritiques ou traumatiques très peu étendues et peu douloureuses, affirment avoir éprouvé une sorte d'engourdissement ou plutôt d'assoupissement après emploi de l'ambrine. Les causes de cet assoupissement toutefois restent à déterminer.

Les Drs Barthe de Sandfort et Stodel, en 1905, au laboratoire de Dastre, avaient déjà fait une remarque semblable en expérimentant sur des animaux : ayant rasé sur quelques centimètres carrés les poils de la face interne de la cuisse d'une vingtaine de chiens, ils avaient constaté que, pendant une heure environ après l'application, la plupart de ces animaux (exactement dix-sept sur vingt) somnolaient sans qu'il fût possible, par l'appât de nourriture, de les tirer de cet engourdissement.

Au commencement de 1917, un malade atteint de

radiumdermite, auquel le Dr BARTHE DE SANDFORT avait appliqué pour la première fois un pansement à l'ambrine, lui disait que, peu de temps après le pansement, il avait éprouvé une sensation d'engourdissement et avait dormi pendant trois heures.

L'ambrine aurait donc une action sédative générale outre son action analgésique locale, et pourtant elle ne contient aucune substance médicamenteuse.

Son effet physiologique le plus remarquable est, sans contredit, l'apaisement de la souffrance la plus cuisante, non seulement sur les brûlures et les gelures, mais encore sur les rhumatismes, névralgies, zonas, etc.

Les brûlures.

La guérison de la brûlure est généralement difficile à réaliser ; elle occasionne au malade des souffrances aiguës ; les soins du chirurgien sont souvent mal récompensés chez des malades que ni les greffes, ni les pommades, ni les divers produits kérato-génétiques ne peuvent guérir. Et si la blessure se cicatrise enfin, que de fois elle est suivie d'accidents qui nécessiteront plus tard des interventions chirurgicales nouvelles. De plus, il est des brûlures spéciales, telles que les brûlures dues aux rayons X ou au radium, qui sont particulièrement rebelles à tout traitement.

L'ambrine paraît réussir dans tous les cas. Elle s'applique sans douleur. Elle s'enlève de même. Pendant qu'elle séjourne sur la plaie la souffrance disparaît, la cicatrisation et l'élasticité des cicatrices ne tardent pas à se produire, réduisant la formation des

chéloïdes au minimum, surtout si le malade a été traité immédiatement après l'accident sans avoir subi l'action prolongée des antiseptiques.

Aussi, les brûlés ne redoutent-ils pas de se faire panser par ce procédé.

La peau des anciens brûlés est aussi lisse que celle de l'enfant et, dans la paume des mains, parfois si vivante qu'elle transpire plus qu'auparavant.

Le temps de cicatrisation varie selon l'origine de la brûlure, l'importance de la lésion et la résistance générale du malade.

En effet, si, au cours d'un traitement de brûlures soit aux mains, soit aux pieds ou à la face (deuxième, troisième degré), la santé du patient est altérée par suite d'un état morbide général dû à une septicémie quelconque, la plaie en traitement prend un aspect grisâtre et sa cure est retardée.

Mais si, au contraire, le sujet est sain et bien portant, la cure peut être obtenue en moyenne vers le trente-cinquième jour.

Voici, d'après Fauré-Frémiet, chef de laboratoire d'histologie au Collège de France, la description de la nature du tissu de réparation créé par l'ambrine.

Le tissu conjonctif se présente comme un mésenchyme embryonnaire, les vaisseaux s'accroissent, il existe de nombreuses figures de division dans les cellules des parois vasculaires. La trame conjonctive est fine et délicate, il ne se produit pas, comme dans le tissu cicatriciel ordinaire, des masses fibreuses. La couche de Malpighi est normale, elle s'avance par division cellulaire et par étalement, puis recouvre peu à peu le tissu. Après l'application d'ambrine sur une

plaie, il se produit un *grand appel de leucocytes*. La sérosité que l'on découvre constitue *une véritable purée de polynucléaires* avec quelques grands mononucléaires.

A la partie superficielle de la région non épidermisée (tissu conjonctif de nouvelle formation), on voit principalement une couche formée de polynucléaires qui semblent en état de dégénérescence et englobés dans un magma albuminoïde (peut-être une couche protectrice?) qui disparaît quand la couche de Malpighi arrive à ce niveau.

Au point de vue bactériologique il existe peu de microbes après le deuxième ou troisième pansement; ceux que l'on retrouve sont en général phagocytés.

Les recherches du professeur Letulle confirment pleinement les renseignements précédents sur la nature du tissu cicatriciel obtenu à l'aide de l'ambrine.

Manière d'employer l'ambrine.

L'ambrine est présentée sous forme de tablettes brunes rectangulaires.

Pour l'employer, on brise les tablettes, on les met dans un récipient et on les fait fondre à feu doux. Un léger pétillement du liquide ainsi chauffé avertit l'opérateur que l'ambrine a atteint le voisinage de 125°. On cesse de chauffer, l'ambrine est suffisamment stérilisée pour être prête à l'emploi. Cette opération renouvelée trop fréquemment pourrait toutefois en altérer les propriétés efficaces et, dans la suite, on la fait fondre au bain-marie, en évitant de laisser pénétrer

de l'eau dans le récipient, ce qui pourrait provoquer des brûlures graves.

La plaie à soigner, minutieusement nettoyée et asséchée, est vivement recouverte d'ambrine liquide stérile au moyen d'un pinceau doux qu'il faut éviter d'appuyer, de peur de froisser douloureusement la couche si mince sous laquelle se fait la réparation. Un peu d'ouate très étirée est étendue sur cette sorte de vernis et recouverte d'une nouvelle épaisseur d'ambrine qui soude la ouate à la première couche.

L'enveloppement se fait ensuite avec du coton comme à l'ordinaire.

Pour enlever le pansement, ce qui se pratique très aisément, on coupe les bandes, on écarte le coton et l'on incise la couche cireuse en la soulevant pour éviter de toucher à la plaie.

Le membre extrait sans difficulté de ce moulage est lavé à l'eau bouillie ou avec une solution très faiblement antiseptique à l'aide d'un tampon d'ouate hydrophile stérilisée que l'on promène légèrement et rapidement sur la plaie.

Dans certains cas, lorsque la plaie prend l'aspect grisâtre, il faut recourir pendant quelque temps à des pansements humides : eau alcoolisée, huile goménolée, etc.

Pour hâter la cicatrisation trop lente à réaliser on peut alterner le pansement à l'ambrine pendant deux jours avec un pansement différent durant le troisième jour (huile goménolée, baume du Pérou, etc.) et ainsi de suite.

Parfois on associe d'autres procédés, l'air chaud

ou le liquide de Dakin par exemple, au traitement pa l'ambrine.

Les gelures.

Le traitement des gelures est identique au traite ment des brûlures. On verse l'ambrine en fusion dan un récipient où l'on pourra baigner le membr malade en évitant qu'il puisse toucher les parois s elles sont métalliques.

Le *furoncle*, le *panari*, l'*anthrax* et même le *ulcères variqueux* semblent avoir comme traitemen de choix le procédé par l'ambrine.

Les *hydarthroses* anciennes et rebelles, les *pleuro dynies*, les *névralgies*, la *goutte*, les *orchites* et cer taines affections cutanées ont été traitées de même avec succès.

Ce traitement fut appliqué dans des cas très difficile où l'absence de tout lambeau de chair rendait la cica trisation très pénible, par exemple dans une désarti culation de l'épaule avec très large surface béante ; l guérison put être obtenue dans d'excellentes condi tions.

Mécanisme de la cicatrisation des plaies.

A l'aide du pulvérisateur ou d'une seringue o projette de l'ambrine aussi fluide que de l'eau pa l'orifice de la plaie jusqu'à ce que le liquide regorg au dehors. Puis on applique une mince couche d'ouat que l'on fait adhérer avec une couche d'ambrin recouverte à son tour par plusieurs autres couches d

quelques centimètres plus larges autour de l'orifice, car l'hyperémie générale de la région résultant de cette cuirasse complète l'action locale de l'injection.

L'ambrine employée à 90° environ ne tarde pas à se solidifier à la température du corps, à l'intérieur et à la surface de la plaie, en se contractant sur elle-même. Après un certain temps, suffisant pour assurer son action stimulante et microbicide sur les parois de la plaie, elle s'éloigne de celles-ci. Elle moule intérieurement, mais à une petite distance des parois, la forme de la plaie et reste suspendue à la carapace extérieure formée sur le tégument.

C'est un bloc cireux, véritable mèche malléable, rigoureusement stérile, qui laisse toute liberté d'écoulement à l'extérieur des liquides existant ou se formant dans la cavité.

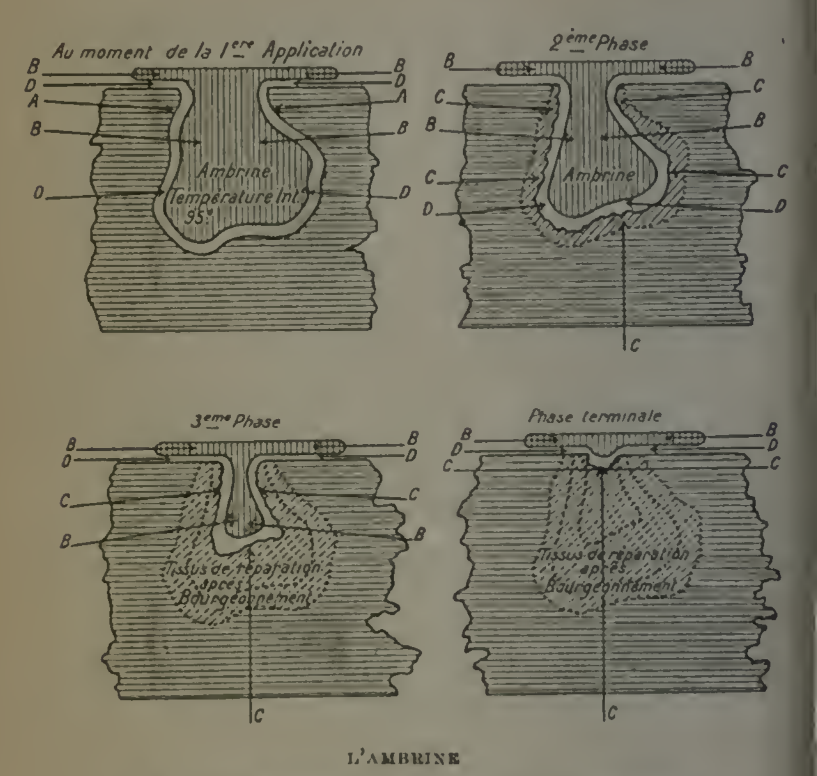
Les parois de la plaie subissent bientôt des modifications profondes sous l'influence de la température, et le bourgeonnement commence, ce que l'on a souvent constaté sur de vastes plaies de chevaux où l'observation était rendue assez facile par les dimensions de tous les éléments.

On enlève le premier pansement après vingt-quatre ou quarante-huit heures : la cavité s'est rétrécie de toute l'épaisseur de la lame de bourgeons qui la tapissent maintenant partout également.

Avec une mèche de gaze qui porte sur certains points et manque sur d'autres on ne peut obtenir cette prolifération régulièrement progressive, à moins que l'opérateur n'intervienne volontairement dans cette manœuvre exécutée à l'aveuglette.

L'uniformité de pression obtenue par l'ambrine

facilite la production égale de tissu fibreux sur *tous les points en même temps* et la plaie se comble sans que des soudures irrégulières dues au développement trop rapide de certains bourgeons éloignés les uns



L'AMBRINE

Fig. 6. — Mécanisme de la cicatrisation des plaies.

des autres organisent la production de brides fâcheuses.

A la deuxième application l'ambrine se comporte de même. Le nouvel espace laissé libre par la contraction de la matière refroidie laisse une place nouvelle à la seconde poussée de bourgeons devant lesquels elle recule uniformément sans jamais les froisser, les

bridant très doucement et restant assez molle pour céder sous leur pression.

En même temps la sclérose se poursuit (Voir sur le schéma les phases de la réparation).

La mèche constituée par l'ambrine se réduit proportionnellement aux espaces de plus en plus restreints laissés par les bourgeons et leur organisation en tissu fibreux.

Au niveau de l'orifice de la plaie l'épidermisation se produit entre les bords sans les tirailler, en les soudant simplement, ce qui explique la régularité des cicatrices et leur solidité.

Un usage de l'ambrine peu connu est le nettoyage des plaies dans les postes de secours. Ce nettoyage se fait en quelque sorte mécaniquement tandis que l'ambrine refroidit sur la plaie ; ce procédé a l'avantage en même temps d'immobiliser les lésions et de permettre le transport des malades.

On peut aussi faire avec ce produit un appareil de contention aisément construit qui, sans la dureté du plâtre, permet le transport des blessés atteints de fractures ouvertes, même avec esquilles, presque sans douleur. Cinq ou six immersions dans l'ambrine suffisent à l'obtention d'une couche assez résistante pour qu'il faille un véritable effort pour la briser. A l'ambulance, le chirurgien fend la carapace et trouve la plaie propre et les fragments placés tels qu'on les a laissés.

MOYENS D'ÉVITER AUX BLESSÉS LES CRUELLES SOUFFRANCES D'UN TRANSPORT DÉFECTUEUX

S'il est de tout intérêt pour le blessé de recevoir au plus tôt sur le champ de bataille un pansement sûr, simple, aux effets tellement durables qu'il puisse sans dommage ne pas être renouvelé pendant douze, vingt-quatre, quarante-huit heures, il n'est pas moins important qu'une méthode d'appareillage en vue de la relève des blessés et de leur première évacuation puisse permettre de faire vite et bien. Ces conditions nous semblent être réalisées par l'emploi des manchons articulés G A B, appareils de contention imaginés par le médecin-major de 1re classe Dutard, de Paris, médecin traitant, assistant de chirurgie à l'hôpital militaire du Grand Palais.

Au point de vue de leur fonctionnement, ou mieux de leur utilisation, ils peuvent être divisés en trois catégories ou plutôt envisagés à trois points de vue différents.

La première catégorie envisageant ces appareils au point de vue du secours immédiat et d'une action provisoire, comprend les appareils bons pour la relève,



Appareil de contention : le mousquetaire.



Fig. 11. — Appareil de contention : la basane.

le transport ou l'évacuation des blessés. Ils doivent être simples, résistants, élémentaires, d'application facile et de préférence à attributions multiples.

La deuxième catégorie comprend les mêmes appareils plus spécialisés, mieux adaptés comme taille, résistance, forme ou matière composante, à une région ou à une fonction particulière.

Réduits à l'une de leurs nombreuses attributions, ils sont capables de suppléer et parfois de remplacer l'appareil définitif et deviennent ainsi appareils de l'arrière, demi-provisoires.

La troisième catégorie comprend les appareils ou un de leurs éléments essentiels, agissant seul ou en combinaison pour un traitement définitif. Nous ne pouvons décrire chacun de ces appareils dans ses détails, nous nous contenterons de montrer à nos lecteurs quelques clichés représentant les appareils dénommés :

1° Le *mousquetaire* (Pl. V) pour l'immobilisation de l'avant-bras ;

2° La *busane* (Pl. VI) pour l'immobilisation du membre inférieur, articulation tibio-tarsienne comprise.

COMMENT PRÉVENIR L'INFECTION DES PLAIES DE GUERRE CHEZ NOS SOLDATS

Avec la guerre on a vu reparaître la gangrène gazeuse, le tétanos, la septicémie (frisson violent suivi de l'empoisonnement du sang), d'innombrables abcès au foie, dans les poumons, les articulations, l'érysipèle, le phlegmon diffus, etc.

La plus rigoureuse propreté préside pourtant autant qu'avant la guerre à toutes les opérations chirurgicales. Avec autant de zèle on s'applique à empêcher la pénétration chez les blessés des organismes microbiens producteurs d'infection. Jamais les chirurgiens n'ont été plus soigneux; leurs gants d'opération sont chaque fois passés à l'étuve; leurs instruments chauffés à l'autoclave leur sont rendus avec des pinces également stérilisées. Quant aux pansements, ils sont tous antiseptiquement préparés à l'avance et ne sortent de leurs enveloppes imperméables que pour être employés immédiatement.

L'agent vulnérant, balle, éclat d'obus, de shrapnell n'est pas davantage entouré de bactéries nocives. Il

est le plus souvent parfaitement aseptique, n'étant sorti du feu que pour être empaqueté.

Mais, s'il n'est pas infectieux par lui-même, il fait pénétrer dans la plaie les agents infectieux en entraînant avec lui des fragments de vêtements forcément très sales, véritables « bouillons de culture » pour les organismes microbiens de toute nature.

Pour que les blessures soient moins souvent mortelles, il est assez curieux de constater qu'il faudrait que nos soldats reviennent aux habitudes de certains peuples primitifs, ou mieux aux coutumes de leurs ancêtres gaulois, qui se débarrassaient de leurs vêtements, tout comme quelques héros de la Révolution, pour combattre plus à l'aise.

Ce moyen, difficilement acceptable à notre époque, ne manquerait pas de pittoresque. D'ailleurs, nous n'oserions affirmer que dans la chaleur de l'action plus d'un « poilu » ne l'ait essayé, sans avoir voulu cependant ainsi mériter son surnom.

De là à l'ordonner à tous il y a un monde d'impossibilités, à commencer par les exigences de la température. Comme les Gaulois, nos soldats ne peuvent se contenter de combattre pendant les beaux jours de la saison d'été. Or, c'est l'hiver surtout que les vêtements sont boueux. Quant aux autres inconvénients fort nombreux, chacun peut aisément les deviner.

Donc tout le mal vient du vêtement souillé. C'est lui qu'il faudrait rendre inoffensif.

Un médecin des hôpitaux, le Dr Paul Carnot, a étudié cette question au moyen de nombreuses expériences.

Une première série l'a conduit à la conclusion que

« les vêtements souillés de terre et de matières sterco-rales représentent l'intermédiaire de contamination le *plus habituel* entre la septicité des milieux extérieur et l'infection des blessures de guerre ».

La boue qui souille les vêtements contribue à l'infection des plaies de guerre dans des proportion énormes. Pour s'en convaincre, il suffit de jeter quelques parcelles de terre provenant des tranchée dans différents milieux nutritifs tels que : bouillon de bœuf, gélose, etc., et de laisser le tout reposer à une température favorable. « On est alors surpris de l'abondance et de la variété des germes qui se développent » et de leur analogie avec les microbes infectant les blessures contractées aux mêmes endroits. « Il suffit d'autre part d'inoculer à un cochon d'Inde ou à une souris des parcelles de terre pour observer diverses variétés d'infection suraiguë, de suppuration de gangrène gazeuse, de tétanos, que l'on observe chez les blessés et qui semblent d'ailleurs varier suivant la nature des terrains où ils ont séjourné.

Il n'est guère aisé, cela se conçoit, de nettoyer, lessiver, stériliser surtout, les uniformes au cantonnement et encore moins dans la tranchée. « En tout cas, les lessivages et le renouvellement du linge resteront de beaucoup la méthode la plus simple » pour affaiblir le danger.

Quant au vêtement, on pourrait le protéger au moyen d'un survêtement analogue au cache-poussière « Les conditions de ce survêtement sont d'être lisse imperméable, impénétrable et facilement lavable Les grands pardessus imperméables, caoutchouté ou huilés, adoptés par les officiers, constituent des

protecteurs efficaces. Il en serait de même du simple bourgeron imperméabilisé, largement ouvert sous les bras pour laisser se faire la transpiration », condition indispensable pour éviter un véritable bain de sueur au soldat.

Toutefois, ce survêtement sera-t-il tenu continuellement par son possesseur en état d'extrême propreté?

Mais il reste une troisième méthode qui pourrait même n'être que le complément des précédentes : c'est de rendre le vêtement inoffensif en fixant dans l'étoffe des substances antiseptiques.

On parvient à fixer certains antiseptiques dans une trame de tissu en les incorporant à une substance imperméable telle que l'huile ou le caoutchouc.

Le formol rend la gélatine insoluble. La gélatine formolée donne donc de bons résultats, mais il faut renouveler assez souvent la pénétration par le formol, ce qui est facile.

Au caoutchouc on peut incorporer du crésyl, du naphtol, de l'eucalyptol, tous solubles dans la benzine qui, ainsi chargée, pénètre les tissus en même temps que l'imperméable.

On peut encore antiseptiser des tissus huilés ou paraffinés grâce à l'addition de substances antiseptiques solubles dans l'éther ou le sulfure de carbone.

Enfin l'usage de savons à l'oxyde de zinc ou à l'oxyde de cuivre a donné de bons résultats.

Mlle Mary DAVIES, bactériologiste au *Robert Walton Goelet Research Fund* à l'hôpital militaire de Ris-Orangis, s'est occupée de questions analogues. En collaboration avec le Dr TAYLOR, chef du laboratoire

de cet hôpital, elle est arrivée à des conclusions semblables à celle du Dr P. Carnot.

Elle préconise le pyxol mélangé au crésyl et au savon noir. « Cette substance est peu coûteuse, inoffensive comme couleur et comme odeur et n'est pas irritante pour la peau, même quand le linge, trempé dans une dilution à 5 °/₀ de ce produit, est porté avant d'être tout à fait sec. »

Cinq à six mois après, le drap ainsi trempé est encore capable de détruire les microbes.

Ajoutons que la propreté individuelle est indispensable. Les chefs de corps y veillent heureusement, et un simple savon au cuivre, au zinc ou au pyxol, joint à un vêtement rendu antibactérien, fait le reste.

CONCLUSION

Si l'on veut définir la conduite à tenir en présence des plaies de guerre, on pourra établir trois stades :

1° *Stade mécanique.* — Dans presque tous les cas, le débridement précoce et large constitue le procédé de choix et le moyen de traitement le plus efficace pour les plaies de guerre.

Il est inutile de faire intervenir les antiseptiques si le foyer infecté n'est pas entièrement mis à nu jusque dans ses plus intimes profondeurs. Cette première opération doit être une désinfection plutôt mécanique qu'antiseptique. Elle nécessite l'anesthésie générale et les temps sont les suivants :

Faire disparaître, par le rasage et le nettoyage de la peau, les poils et les saletés qui peuvent s'y trouver ; usage de la teinture d'iode dédoublée ; nettoyage de l'orifice et du trajet par de l'éther et de l'eau oxygénée mis sur un écouvillon ; débridement large. Ablation des débris, extractions des corps étrangers (débris d'effets, terre, gravier, etc.) ; recherche du projectile avec contrôle radioscopique ou épreuve radiographique préalable ; hémostase, ablation des caillots ;

s'il s'agit d'une lésion osseuse ou ostéo-articulaire, extraction économique des esquilles ou résection, abondants lavages, emploi des antiseptiques.

2° *Stade antiseptique ou chimique.* — Lorsque la plaie est bien débridée ou nettoyée, on peut employer, pour éviter la pullulation microbienne, certains antiseptiques en pulvérisations, attouchements ou lavages. Alors il est de toute nécessité de ne faire usage que de solutions suffisamment fortes, mais pas trop, pour éviter de porter atteinte à la défense des cellules en les altérant.

3° *Stade des moyens physiologiques.* — Ces derniers s'adressent tout particulièrement aux tissus dont on désire augmenter la résistance tout en augmentant leur vitalité. Les sérums nutritifs artificiels créent un milieu convenable pour aider à la défense et à la reconstitution régionales.

*
* *

Un fait nouveau se dégage avec netteté. C'est qu'au chirurgien se sont joints des collaborateurs éminemment scientifiques : le bactériologiste, l'histologiste et le biologiste, pour suivre pas à pas l'évolution de l'infection des blessures de guerre. De remarquables résultats ont été obtenus ainsi qu'ont pu le constater nos lecteurs, au cours de cette revue rapide de l'état actuel de nos connaissances sur les moyens rationnels de traiter les plaies de guerre

---

INDEX DES NOMS PROPRES CITÉS

INDEX TECHNOLOGIQUE

Anaphylactique. — L'anaphylaxie est l'accroissement, dans de fortes proportions, de la sensibilité d'un sujet vis-à-vis d'un poison, par le fait d'une seconde injection de ce même poison.

Anticorps. — Substances existant dans le sérum sanguin et chargées de défendre l'organisme quand un élément étranger (corps ou antigène) y est introduit.

Arthrotomie. — Ouverture d'une articulation.

Astragalectomie. — Ablation de l'astragale, un des os du pied.

Attrition. — État de ce qui est attrit, mortifié.

Catgut. — Fil à ligature préparé avec l'intestin grêle du mouton.

Chéloïde. — Tumeur fibreuse se développant dans le derme ou au niveau d'une cicatrice, notamment dans les cicatrices de brûlure.

Cytogène. — Qui est capable de régénérer les tissus en favorisant la poussée de cellules nouvelles.

Déterger. — Nettoyer, débarrasser une plaie de tout ce qui la souille.

Frottis. — Préparation microscopique obtenue en frottant une petite quantité de pus sur une lame de verre à l'aide d'un fil de platine, par exemple.

Hématose. — Tumeur constituée par du sang.

Hémostase. — Pratiquer l'hémostase d'une région, c'est faire en sorte qu'aucune goutte de sang ne puisse se répandre dans cette région.

Hyperhémie. — Afflux excessif de sang dans un organe qui se trouve alors congestionné.

Idiosyncrasie. — État de certains tempéraments faisant preuve d'une susceptibilité exagérée pour tel ou tel médicament.

Kératinisation. — Production d'une couche cornée à la surface d'une plaie.

Kérato-génétique. — Se dit d'une substance qui engendre la production d'une couche cornée.

Posologie. — La posologie d'un médicament est l'indication des doses auxquelles peut être administré ce médicament.

Rachistovaïnisation. — Injection de stovaïne dans le canal rachidien, dans le but de provoquer l'anesthésie du ventre et des membres inférieurs.

Sclérose. — Durcissement des tissus.

Shock. — État particulier dans lequel se trouve un blessé après une grande commotion nerveuse.

Sphacèles. — Débris de tissus mortifiés.

Synovectomie. — Ouverture de la capsule synoviale d'une articulation.

Vestimentaire. — Qui provient d'un vêtement.

TABLE DES GRAVURES

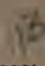
HORS TEXTE

DANS LE TEXTE

TABLE DES MATIÈRES

NANCY, IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT — AOUT 1917

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY 

PAGES D'HISTOIRE 1914-1917

Série de volumes in-12

HONORÉE DE SOUSCRIPTIONS DU MINISTÈRE DE L'INSTRUCTION PUBLIQUE
DU MINISTÈRE DE LA MARINE ET DU GOUVERNEMENT BELGE

1. **Le Guet-apens.** *23, 24 et 25 juillet 1914* . . . . 40 c.
2. **La Tension diplomatique.** *Du 25 juillet au 1er août 1914* . . . . 60 c.
3. **En Mobilisation.** *2, 3 et 4 août 1914* . . . . 60 c.
4. **La Journée du 4 août 1914** . . . . 60 c.
5. **En Guerre.** *Du 5 au 7 août 1914* . . . . 60 c.
6. **Les Communiqués officiels depuis la déclaration de guerre.** — I. *Du 5 au 14 août 1914* . . . . 60 c.
7. — II. *Du 15 au 31 août 1914* . . . . 60 c.
8. — III. *Du 1er au 30 septembre 1914* . . . . 60 c
9. **Extraits du « Bulletin des Armées de la République ».** — I. **Les Premiers-Paris.** *Du 15 août au 3 septembre 1914* . . . 60 c.
10. — II. **Les Premiers-Bordeaux.** *Du 4 sept. au 21 octobre 1914*. 60 c.
11. **A l'Ordre du Jour.** — I. *Du 8 août au 18 septembre 1914* . . . 60 c.
12. **Les Communiqués officiels.** — IV. *Du 1er au 31 octobre 1914*. 60 c.
.3. **A l'Ordre du Jour.** — II. *Du 19 au 29 septembre 1914* . . . . . 60 c.
.4. — III. *Du 2 au 14 octobre 1914* . . . . 60 c.
5. **Le Livre bleu anglais** (*23 juillet-4 août 1914*). . . . . 60 c.
6. **A l'Ordre du Jour.** — IV. *Du 15 au 26 octobre 1914* . . . . . . 60 c.
7. — V. *Du 28 octobre au 1er novembre 1914* . . . . 60 c.
8. **Les Communiqués officiels.** — V. *Du 1er au 30 novembre 1914*. 60 c.
9. **A l'Ordre du Jour.** — VI. *Du 6 au 10 novembre 1914* . . . . . 60 c.
0. **Le Livre gris belge** (*24 juillet-29 août 1914*). . . . . 60 c.
1. **Le Livre orange russe** (*10/23 juillet-24 juillet/6 août 1914*) . . . 60 c.
2. **Le Livre bleu serbe** (*16/29 juin-3/16 août 1914*). . . . . 60 c.
3. **La Séance historique de l'Institut de France.** Préface de M. H. Welschinger, de l'Institut. . . . . 60 c.
4. **Extraits du « Bulletin des Armées de la République ».** — III. **Les Premiers-Bordeaux.** *Du 24 oct. au 9 décembre 1914*. 60 c.
5. **Le Livre blanc allemand** (*24 juillet-2 août 1914*). . . . . . . 60 c.
6. **Les Communiqués officiels.** — VI. *Du 1er au 31 déc. 1914* . . 60 c.
7. **L'Allemagne et la Guerre,** par Émile Boutroux, de l'Académie Française . . . . 40 c.
3. **La Folie allemande.** *Documents allemands,* par Paul Verrier, chargé de cours à la Sorbonne. . . . . 30 c.
). **La Journée du 22 décembre 1914** (*Rentrée des Chambres*). Préface de M. H. Welschinger, de l'Institut . . . . 60 c.
). **La Chronologie de la Guerre.** *Du 31 juillet au 31 décembre 1914,* par S. R. . . . . 40 c.

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

PAGES D'HISTOIRE 1914-1917 (*Suite*)

31. **A l'Ordre du Jour.** — VII. *Du 11 au 21 novembre 1914* 60
32. **Le « 75 ».** *Notions sur le canon de 75,* par Th. Schlœsing fils, membre de l'Institut 40
33. **A l'Ordre du Jour.** — VIII. *Du 22 au 25 novembre 1914* . . . 60
34. **Les Neutres. — Les Allemands en Belgique (Louvain et Aerschot).** *Notes d'un témoin hollandais,* par L.-H. Grondijs. 60
35. **Les Communiqués officiels.** — VII. *Du 1er au 31 janvier 1915.* 60
36 et 37. **Les Neutres. — Voix américaines sur la guerre de 1914.** Articles traduits ou analysés par S. R. — I et II. Chacun. 60
38. **Le second Livre orange russe** (*19 juillet/1er août-19 octobre /1er novembre 1914*) 60
39. **Le Front.** *Atlas dépliant de 32 cartes en six couleurs.* (Août-décembre 1914.) Préface du général Cherfils 90
40. **Paroles allemandes.** Préface de l'abbé E. Wetterlé, ancien député de Ribeauvillé (Haut-Rhin) au Reichstag. 90
41. **Les Poètes de la Guerre.** *Recueil de poésies parues depuis le 1er août 1914.* Preface en vers de Hugues Delorme 75
42. **Les Communiqués officiels.** — VIII. *Du 1er au 28 février 1915.* 60
43. **A l'Ordre du Jour.** — IX. *Du 26 novembre au 1er déc. 1914* . . 60
44. **La Haine allemande** (*Contre les Français*), par Paul Verrier, chargé de cours à la Sorbonne 40
45. **Les Communiqués officiels.** — IX. *Du 1er au 31 mars 1915.* . 60
46. **Les Neutres. — La Suisse et la Guerre** 60
47. **Le Livre rouge austro-hongrois** (*29 juin-24 août 1914*) 90
48. **Les Campagnes de 1914,** par Champaubert. Avec 23 cartes . 60
49. **Les Communiqués officiels.** — X. *Du 1er au 30 avril 1915* . . 60
50. **Nos Marins et la Guerre.** — I. 60
51. **Le second Livre bleu anglais** (*Turquie, 3 août-4 nov. 1914*). 90
52. **A l'Ordre du Jour.** — X. *Du 2 au 7 décembre 1914.* 60
53. **Les Communiqués officiels.** — XI. *Du 1er au 31 mai 1915* . . 60
54. **Les Neutres. — Les Dessous économiques de la Guerre,** par Christian Cornélissen, économiste hollandais. Préface de Charles Andler, professeur à la Sorbonne 60
55. **Le Livre vert italien** (*9 décembre 1914-4 mai 1915*) 90
56. **A l'Ordre du Jour.** — XI. *Du 8 au 11 décembre 1914* 60
57. **Les Volontaires étrangers enrôlés au service de la France en 1914-1915,** par M.-C. Poinsot 60
58. **L'Organisation du Crédit en Allemagne et en France,** par André Liesse, membre de l'Institut 90
59. **A l'Ordre du Jour.** — XII. *Du 11 au 13 décembre 1914* 60
60. **A l'Ordre du Jour.** — XIII. *Du 14 au 28 décembre 1914.* . . . 60
61. **Les Communiqués officiels.** — XII. *Du 1er au 30 juin 1915.* . 60
62. **La Vie économique en France pendant la guerre actuelle,** par Paul Beauregard, membre de l'Institut 40
63. **L'Œuvre de la France.** Articles traduits du journal *The Times.* Avec 1 carte. 40

LIBRAIRIE MILITAIRE BERGER-LEVRAULT

PARIS, 5-7, rue des Beaux-Arts — rue des Glacis, 18, NANCY

PAGES D'HISTOIRE 1914-1917 (*Suite*)

64. **La Guerre et les Monuments.** *Cathédrale de Reims, Ypres, Louvain, Arras,* par Lucien Magne. Avec 32 illustrations . . . 1 fr.
65. **Les Origines historiques de la guerre,** par Gabriel Arnoult, docteur en droit. Avec 4 cartes . . . . 40 c.
66. **Du Rôle de la Physique à la guerre. De l'Avenir de nos Industries physiques après la Guerre,** par J. Violle, membre de l'Institut. Avec 26 figures . . . . 75 c.
67. **Le Livre jaune français** (*17 mars 1913-4 septembre 1914*). . . . 90 c.
68. **Chronologie de la Guerre.** *Du 1er janvier au 30 juin 1915,* par S. R. . . . . 60 c.
69. **Les Communiqués officiels.** — XIII. *Du 1er au 31 juillet 1915.* 60 c.
70. **A l'Ordre du Jour.** — XIV. *Du 29 décembre 1914.* Avec la *Liste alphabétique des noms cités du 8 août au 29 décembre 1914* . . . 90 c.
71. **Les Pages de Gloire de l'Armée belge.** *De la Gette à l'Yser. A Dixmude,* par le commandant Willy Breton, de l'armée belge. Avec 4 cartes . . . . 60 c.
72. **Chants de Soldats (1525-1915).** *Chansons populaires. Chants militaires. Hymnes nationaux. Sonneries.* (Avec la musique.) Recueillis par A. Sauvrezis . . . . 1 fr.
73. **Le Livre bleu anglais. Documents complémentaires** (*20 juillet-1er septembre 1914*). . . . . 60 c.
74. **Voix italiennes sur la Guerre de 1914-1915.** . . . . 60 c.
75. **Les Neutres. — Voix américaines sur la Guerre de 1914-1915.** Articles traduits ou analysés par S. R. — III. . . . . . . 60 c.
76. **Les Neutres. — Voix espagnoles.** Préface de Gomez Carrillo. 60 c.
77. **Les Communiqués officiels.** — XIV *Du 1er au 31 août 1915.* 60 c.
78. **L'Anniversaire de la Déclaration de guerre** (*4 août 1914-4 août 1915*). Préface de M. H. Welschinger, de l'Institut . . . 60 c.
79. **Paroles françaises.** *Hommes d'État. Hommes politiques. Diplomates. Publicistes* . . . . 60 c.
80. **Paroles françaises.** *L'Institut de France. L'Université. Les ministres des cultes. Les chefs militaires. Le Président de la République.* . . . . 60 c.
81. **Les Communiqués officiels.** — XV. *Du 1er au 30 sept. 1915.* . 60 c.
82. **Mines et Tranchées,** par Henry de Varigny. Avec 5 figures. 60 c.
83. **Nos Marins et la Guerre.** — II. *Du 3 avril au 14 août 1915.* 60 c.
84. **Les Alsaciens-Lorrains en France pendant la Guerre** . . 60 c.
85. *La Diplomatie française.* **L'Œuvre de M. Delcassé,** par Georges Reynald, sénateur. Avec portrait. . . . . 60 c.
86. **Les Communiqués officiels.** — XVI. *Du 1er au 31 octobre 1915.* 60 c.
87. **Les Terres meurtries,** par A. de Pouvourville. Avec 7 cartes. . 60 c.
88. **Documents authentiques sur le complot austro-allemand aux États-Unis,** présentés aux deux Chambres du Parlement britannique. 1916 . . . . 60 c.
89. **Les Communiqués officiels.** — XVII. *Novembre-décembre 1915.* 90 c.
90. **Les Neutres. — Voix américaines sur la Guerre de 1914-1916.** Articles traduits ou analysés par S. R. — IV. . . . 60 c.

PAGES D'HISTOIRE 1914-1917 (*Suite*)

91. **La Prospérité économique de l'Allemagne.** *Sa « Place au soleil » et la Guerre,* par Gaston CADOUX. 1916 . . . . 40 c.
92. **Les Derniers Massacres d'Arménie.** *Les Responsabilités,* par Herbert Adams GIBBONS. 1916. . . . . 40 c.
93. **Le second Livre blanc allemand** (Documents sur l'explosion de la Guerre). *Essai critique et notes sur l'altération officielle des documents belges,* par Fernand PASSELECQ. Avec fac-similés. . . 1 fr.
94. **Chronologie de la Guerre.** 3e volume (*1er juillet-31 décembre 1915*), par S. R. . . . . 90 c.
95. **Les Neutres. — Voix de l'Amérique latine.** Préface de Gomez CARRILLO : *Le Péril allemand dans l'Amérique latine.* . . 75 c.
96. **Problèmes de Guerre.** *Le Droit de la Guerre, autrefois et aujourd'hui. Comment on paie en temps de guerre,* par ALGLAVE, professeur à la Faculté de Droit de Paris. . . . . 75 c.
97. **Les Communiqués officiels.** — XVIII. *Janvier-février 1916.* . . 90 c.
98. **La Guerre aérienne.** *Le Rôle de la cinquième Arme,* par G. CROUVEZIER. Avec 24 illustrations . . . . 90 c.
99. **La Conquête de l'Autriche-Hongrie par l'Allemagne.** *Une nouvelle forme de Pangermanisme : le « Zollverein »,* par Adrien BERTRAND. . . . . 60 c.
100. **Deuxième Livre gris belge.** *Correspondance diplomatique relative à la guerre de 1914-1916* 1f 25
101. **Le Nerf de la Guerre.** *Les Ressources de la défense nationale,* par G. CERFBERR DE MÉDELSHEIM, chef des bureaux du service des émissions de la défense nationale. Avec 3 gravures. . . . 1f 50
102. **La Réponse du Gouvernement belge au Livre blanc allemand du 10 mai 1915.** *Étude analytique de la publication officielle du Gouvernement belge,* par Fernand PASSELECQ, directeur du Bureau documentaire belge . . . . 60 c.
103. **La Bataille marocaine.** *L'Œuvre du général Lyautey,* par Ernest VAFFIER . . . . 60 c.
104. **Les Communiqués officiels.** — XIX. *Mars-avril 1916* . . . . 90 c.
105. **L'Effort de la France.** Préface par Alfred CROISET, membre de l'Institut. 60
106. **Le Développement économique de l'Allemagne contemporaine (1871-1914),** par Albert PINGAUD, consul général de France. 75
107. **Explosions et Explosifs,** par Henry DE VARIGNY 75
108. **Les Forces économiques des puissances belligérantes avant la guerre,** par B. FAYOLLE, ingénieur 60
109. **Les Chansons de la Guerre.** Rondeau-préface de Hugues DELORME. 1 25
110. **Les Emprunts de Guerre de l'Allemagne,** par A. LIESSE, membre de l'Institut 60
111. **Les Communiqués officiels.** — XX. *Du 1er mai au 30 juin 1916.* 90
112. **L'Esprit français. Les Caricaturistes.** Préface d'Arsène ALEXANDRE. . . . . 2 f

PAGES D'HISTOIRE 1914-1917 (*Suite*)

113. **Les Communiqués officiels.** — XXI. *Juillet 1916* . . . . . . 90 c.
114. **Chronologie de la Guerre.** — IV. *Du 1er janvier au 30 juin 1916,* par S. R. 1f 25
115. **Les Communiqués officiels.** — XXII. *Août 1916* . . . . 90 c
116. **Leurs Crimes,** *d'après les rapports officiels des Gouvernements français et belge,* par L. Mirman, préfet de Meurthe-et-Moselle, G. Simon, maire de Nancy, et G. Keller, maire de Lunéville. Publié sous le patronage des maires des villes martyres . . . 60 c.
117. **Deuxième Livre jaune français. Lille 1916.** *Conduite des autorités allemandes à l'égard des populations des départements français occupés par l'ennemi.* Préface de Henri Welschinger, de l'Institut . . . . 75 c.
118. **Les Communiqués officiels.** — XXIII. *Septembre 1916* . . . . 90 c.
119. **Autres Chants de Soldats (1200-1916).** *Chansons populaires. Chansons de route. Chants historiques et militaires.* Recueillis par A. Sauvrezis 1f 25
120. **Deuxième Livre bleu serbe, 1916,** sur les violations du droit des gens commises par les autorités allemandes, autrichiennes et bulgares dans les territoires serbes occupés . . . . 75 c.
121. **Les Communiqués officiels.** — XXIV. *Octobre 1916* . . . . . 90 c.
122. **Les Commandements de la Patrie.** Discours prononcé à l'Institut au nom de l'Académie Française (Séance publique des cinq Académies, 25 octobre 1916), par Paul Deschanel . . . . 50 c.
123. **Les Communiqués officiels.** — XXV. *Novembre 1916* . . . . 75 c.
124. **La Hollande et la Guerre,** par Louis Piérard . . . . 75 c.
125. **Les Communiqués officiels.** — XXVI. *Décembre 1916* . . . . 60 c.
126. **La Course à la Mer et la bataille des Flandres** (*Septembre-novembre 1914*), par René Puaux. Avec 10 cartes . . . . 75 c.
127. **Les Communiqués officiels.** — XXVII. *Janvier 1917* . . . . . 60 c.
128. **Chronologie de la guerre.** 5e volume (*1er juillet-31 décembre 1916*), par R. S. 1f 75
129. **Pour avoir la Paix. La Manœuvre allemande.** Préface de Georges Reynald, sénateur de l'Ariège, secrétaire de la Commission des Affaires étrangères . . . . 1 fr.
130. **Les Sous-marins,** par J. Hutter, ingénieur en chef de la Marine. 90 c.
131. **Les Communiqués officiels.** — XXVIII. *Février-mars 1917.* 1f 25
132. **Les Dévastations allemandes dans les départements envahis.** *Mars-avril 1917.* Préface de Henri Welschinger, de l'Institut de France. Avec 4 photographies. 1f 25
133. **Les Communiqués officiels.** — XXIX. *Avril 1917.* . . . . 90 c.
134. **L'Alsace-Lorraine sous le joug qui se brise...,** par Émile Hinzelin. . . . . 60 c.
135. **Histoire de la Révolution russe (1905-1917),** par S. R., membre de plusieurs sociétés savantes. 1f 25
136. **Les Communiqués officiels.** — XXX. *Mai 1917.* . . . . 90 c.
137. **Leurs Buts de guerre.** Documents réunis et publiés par G. Pariset, professeur à l'Université de Nancy. 1f 50

LÉGISLATION DE GUERRE 1914-1917

Collection publiée sous la direction de A. SAILLARD ✻, ✿ I, C ✿

ANCIEN INSPECTEUR GÉNÉRAL
CHEF DE BUREAU AU MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

Ouvrages honorés des souscriptions de divers ministères

Série de volumes in-12, brochés

1. **Les Loyers et le Moratorium.** *Guide complet pour les propriétaires et les locataires. — Leurs situations respectives d'après le régime des décrets. — Congés, baux. — Compétence, procédure. — Dispositions législatives. — Textes officiels,* par A. Saillard. — Brochure de 64 pages . . . . **75 c.**
2. **Les Baux à ferme, les Métayages et le Moratorium.** *Prorogation et suspension des baux. — Reddition des comptes des métayers mobilisés. — Paiement. — Compétence. — Textes officiels,* par A. Saillard. — *2e édition.* Brochure de 40 pages . . . . **60 c.**
3. **Les Affaires, la Bourse, les Banques et la Guerre.** *Manuel de l'homme d'affaires pendant la guerre. — Moratoria divers. — Perte des valeurs mobilières. — Patentes et impôts. — Textes officiels et commentaire pratique,* par F.-J. Combat, chef de portefeuille, expert-comptable judiciaire. — *2e édition.* Volume de 158 pages. . . . . **2 fr. 25**
4. **Finances publiques. Emprunts et placements pendant la Guerre.** Étude d'ensemble (France et Étranger). *Budgets de guerre. — Émissions de la Défense nationale. — Rôle de la Banque de France. — L'Or,* par F.-J. Combat. — *2e édition.* Volume de 248 pages. . . . . **2 fr. 50**
5. **Le Séquestre des biens des Allemands et des Austro-Hongrois.** *Guide juridique et pratique,* par A. Saillard, en collaboration avec un Administrateur-Séquestre. — Brochure de 96 pages . . . . **1 fr. 50**
6. **Condition civile des mobilisés.** — *Actes de l'état civil, Procurations, Mariages, Légitimation, Divorce, Obligations et droits civils, Statut civil des ouvriers des usines de guerre,* par H. Fougerol, docteur en droit et lauréat de la Faculté de Paris, avocat à la Cour, attaché au cabinet du sous-secrétaire d'État à la Guerre. — Volume de 132 pages . . **2 fr.**
7. **Décès et disparitions aux armées.** — *Constatation. Notification aux familles. Expéditions d'actes de décès. — Remise des objets de la succession. Testaments. — Renseignements sur le sort des blessés, disparus et prisonniers. — Textes officiels et formules,* par H. Fougerol. — Brochure de 64 pages . . . . **75 c.**
8. **Les Droits des Veuves et des Orphelins des militaires tués à l'ennemi.** — *Pensions. Délégations de solde. Secours. Avantages divers. — Droits des familles des disparus ou prisonniers. — Textes officiels. — Renseignements pratiques et formules,* par A. Saillard et H. Fougerol. — *3e édition.* Volume de 254 pages. . . . . **2 fr. 50**
9. **Les Allocations aux familles des Mobilisés, Réfugiés et Victimes civiles de la guerre.** — *Conditions. Procédure et Formalités. Réclamations. — Textes officiels avec les solutions des cas d'espèces les plus fréquents, d'après les instructions administratives,* par A. Saillard te H. Fougerol. — *2e édition.* Volume de 220 pages . . . . . . **2 fr. 25**

